

# **LED-käyttöisten rullausopastekylttien mittausmenetelmät ja evaluointi lentoliikenneympäristössä**

Jesse Läykki

**Sähkötekniikan korkeakoulu**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 23.5.2016.

**Työn valvoja:**

Prof. Liisa Halonen

**Työn ohjaaja:**

DI Oskari Moisio



**Aalto-yliopisto**  
**Sähkötekniikan**  
**korkeakoulu**

Tekijä: Jesse Läykki

Työn nimi: LED-käyttöisten rullausopastekylttien mittausmenetelmät ja  
evaluointi lentoliikenneympäristössä

Päivämäärä: 23.5.2016

Kieli: Suomi

Sivumäärä: 8+72

Sähkötekniikan ja automaation laitos, Valaistusyksikkö

Professuuri: Valaistustekniikka ja sähköinen talotekniikka, S-118

Työn valvoja: Prof. Liisa Halonen

Työn ohjaaja: DI Oskari Moisio

Lentokenttävalaistuksella tarkoitetaan valaisimia ja valaistuja rullausopastekylttejä, joiden avulla lentäjälle välitetään informaatio kiitotien ja sen osien sijainnista, sekä oikeasta lähestymiskulmasta ja –suunnasta. Lentokenttävalaistukseen kuuluu myös asematasojen valaistus sekä ohjaus- ja tunnistusvalot.

Finavia on siirtymässä kohti uuden sukupolven lentokenttävalaistusta. Vanhat halogeenilamput- ja valaisimet on tarkoitus vaihtaa uusiin LED-käyttöisiin vaihtoehtoihin.

Tässä työssä on selvitetty mittausmenetelmiä ja laadullisia vaatimuksia parhaan LED-valonlähteillä toimivan rullausopastekyltin valitsemiseksi Helsinki-Vantaan lentoaseman uudishankintoihin. Lisäksi on suoritettu sekä valaistus- että sähkötekniisiä mittauksia testisarjaan kuuluville rullausopastekylteille ja annettu suositus testisarjan parhaasta kylttimallista.

Tutkimuksen perusteella kylttimallien välillä on merkittäviä eroja. Huomattavan moni testisarjan kylttimalleista ei täytä kansainvälisiä minimistandardeja etupinnan keskimääräisen luminanssin osalta. Tuloksien perusteella pystyttiin antamaan suositus parhaasta kylttimallista Helsinki-Vantaan lentoasemalle.

Avainsanat: Lentokenttävalaistus, LED, rullausopastekyltti

Author: Jesse Läykki

Title: Measuring and evaluation of LED powered taxiway guidance signs in aerodrome environment

Date: 23.5.2016

Language: Finnish

Number of pages: 8+72

Department of Electrical Engineering and Automation, Lighting Unit

Professorship: Illumination Engineering and Electrical Building Services, S-118

Supervisor: Prof. Liisa Halonen

Advisor: M.Sc. Oskari Moisio

Airfield lighting consists of lights and internally illuminated taxiway guidance signs, which are used to inform locations of a runway and its parts, as well as the correct approach angle and direction to the pilot.

Finavia is moving toward a new generation of airfield lighting. Old halogen lamps are to be replaced with all-new LED-powered alternatives.

The objective of this master's thesis is to find methods of measurement and qualitative criteria to be able to select the best LED taxiway guidance sign to Helsinki-Vantaa Airport. In addition, a set of electrical and illumination measurements has been executed.

According to the results, there are significant differences between the signs. A number of tested taxiway guidance signs does not meet the minimum standards. The final results showed that it was possible to make a recommendation as the best sign model to Helsinki Airport.

Keywords: Aerodrome, aviation, LED, taxiway guidance signs, tgs, airfield lighting

## Esipuhe

Haluan kiittää professori Liisa Halosta ja ohjaajaani Oskari Moisiota saamastani ohjauksesta, jonka avulla selvittiin kirjoitusprosessin ilmakehän ja turbulensseista. Haluan myös kiittää Finavian ilmailusähkön ja liikennealueprojektien henkilökuntaa tarjoamastaan avusta koko diplomityön ajan. Lopuksi kiitän vielä tyttöystävääni, perhettä, sukulaisia ja kavereita jaetusta tuesta ja kannustuksesta, jotka ovat henkisesti auttaneet saamaan tämän työn kansiin.

Kiitos.

Otaniemi, 14.5.2016

Jesse M. Läykki



# Sisällysluettelo

<b>Tiivistelmä</b>	<b>ii</b>
<b>Tiivistelmä (englanniksi)</b>	<b>iii</b>
<b>Esipuhe</b>	<b>iv</b>
<b>Sisällysluettelo</b>	<b>v</b>
<b>Symbolit ja lyhenteet</b>	<b>vii</b>
<b>Käsitteet</b>	<b>viii</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>1</b>
1.1 Tutkimuksen taustaa . . . . .	1
1.2 Tutkimuksen tavoitteet . . . . .	1
1.3 Työn raja . . . . .	2
1.4 Tutkimusmenetelmät ja tutkimusaineisto . . . . .	2
1.5 Tutkimuksen rakenne . . . . .	2
<b>2 Lentokenttävalaistus</b>	<b>3</b>
2.1 Määräykset . . . . .	3
2.2 Sähkönsyöttöjärjestelmä . . . . .	4
2.3 Visuaaliset opastelaitteet . . . . .	5
2.4 Helsinki-Vantaan lentoasemalla käytettävien valonlähteiden ominai- suudet . . . . .	9
2.5 LED-opastekylttien vaatimukset . . . . .	11
2.5.1 Mekaaniset vaatimukset . . . . .	11
2.5.2 Sähköiset vaatimukset . . . . .	13
2.5.3 Näkyvyysvaatimukset . . . . .	13
2.6 Helsinki-Vantaan lentoaseman LED-pohjaiset visuaaliset opastelaitteet	14
<b>3 Helsinki-Vantaan lentoaseman LED-rullausopastekyltit</b>	<b>16</b>
3.1 Safegate . . . . .	16
3.2 All About Signs . . . . .	17
3.3 International Airfield Technology . . . . .	18
3.4 ADB . . . . .	18
3.5 Tammerneon ja TWOY . . . . .	19
3.6 Yhteenveto . . . . .	20
<b>4 Mittausmenetelmät</b>	<b>22</b>
4.1 Mittalaitteet . . . . .	23
4.2 Sisätilamittaus . . . . .	23
4.3 Ulkotilamittaus . . . . .	25
4.4 Erot Annex 14:n ja toteutettujen mittausten välillä . . . . .	25

<b>5</b>	<b>Mittaustulokset</b>	<b>26</b>
5.1	Virta-, jännite- ja tehomittausten tulokset . . . . .	26
5.2	Luminanssi- ja värikoordinaattimittausten tulokset . . . . .	27
5.2.1	Safegate . . . . .	28
5.2.2	All About Signs . . . . .	31
5.2.3	International Airfield Technology . . . . .	33
5.2.4	ADB . . . . .	35
5.2.5	TWOY . . . . .	38
<b>6</b>	<b>Päätelmät</b>	<b>42</b>
6.1	Asennus- ja käyttökokemuksia LED-rullausopastekylteistä . . . . .	42
6.2	Kylttivalmistajien ilmoittamien ja mitattujen tulosten vertailu . . . .	43
6.3	Yhteenveto . . . . .	45
	<b>Viitteet</b>	<b>48</b>
<b>A</b>	<b>Pauli Kiiverin haastattelun litteraatio</b>	<b>51</b>
<b>B</b>	<b>Mittauspöytäkirja SGN439</b>	<b>58</b>
<b>C</b>	<b>Mittauspöytäkirja SGN663b</b>	<b>59</b>
<b>D</b>	<b>Mittauspöytäkirja SGN700a</b>	<b>60</b>
<b>E</b>	<b>Mittauspöytäkirja SGN702a</b>	<b>61</b>
<b>F</b>	<b>Mittauspöytäkirja SGN716</b>	<b>62</b>
<b>G</b>	<b>Mittauspöytäkirja SGN669b</b>	<b>63</b>
<b>H</b>	<b>Mittauspöytäkirja SGN703b</b>	<b>64</b>
<b>I</b>	<b>Mittauspöytäkirja SGN666a</b>	<b>65</b>
<b>J</b>	<b>Mittauspöytäkirja SGN667b</b>	<b>66</b>
<b>K</b>	<b>Mittauspöytäkirja SGN263+</b>	<b>67</b>
<b>L</b>	<b>Mittauspöytäkirja SGN736</b>	<b>68</b>
<b>M</b>	<b>Mittauspöytäkirja TWOY</b>	<b>69</b>
<b>N</b>	<b>Mittauspöytäkirja SGN438</b>	<b>70</b>
<b>O</b>	<b>Mittauspöytäkirja SGN-Z10</b>	<b>71</b>

# Symbolit ja lyhenteet

## Symbolit

$I$	virta
$L$	luminanssi
$P$	pätöteho
$S$	näennäisteho
$U$	jännite
$x$	x-värikoordinaatti
$y$	y-värikoordinaatti
$\cos\varphi$	tehokerroin

## Lyhenteet

AAL	All About Signs
ADB	ADB Airfield Solutions
AFL	Airfield Lighting, lentokenttävalaistus
APN	Apron, asemataso
CCR	Constant Current Regulator, vakiovirtasäädin
CIE	Commission Internationale de l'Eclaire
EASA	European Aviation Safety Agency
FAA	Federal Aviation Administration of USA
IAT	International Airfield Technology
ICAO	International Civil Aviation Organization
IEC	International Electrotechnical Commission
ka	keskiarvo
LED	Light Emitting Diode, valodiodi
max	maksimi
min	minimi
RCL	Runway Center Line, kiitotien keskilinja
RGL	Runway Guard Light, kiitotien varoitusvalo
RVR	Runway Visual Range, kiitotienäkyvyys
RWY	Runway, kiitotie
SGN	Sign, kyltti
TWY	Taxiway, rullaustie

# Käsitteet

## Asemataso

Lentoaseman alue, joka on tarkoitettu lentokoneiden matkustajien tai rahdin las-  
tausta tai purkamista sekä lentokoneiden tankkausta, paikoitusta tai huoltoa varten.  
Helsinki-Vantaan lentoasemalla on seitsemän asematasoa.

## Kiitotienäkyvyys

Etäisyys, jolta lentäjä pystyy hahmottamaan kiitotien suunnan ja keskilinjan. Tun-  
nistaminen voi tapahtua joko pintamerkintöjen tai valojen perusteella.

## Lentokenttäalue

Tarkoittaa aluetta, joka on turva-aidan sisäpuolella. Lentokenttäalueeseen kuuluvat  
asematasot, kiitotiet, rullaustiet sekä maasto ja rakennukset, joihin ei ole pääsyä  
ilman asianmukaista lupaa.

## Lentoliikennealue

Lentoaseman alueet, joita lentokoneet käyttävät lentoonlähtöön, laskeutumiseen ja  
rullaukseen. Asematasot eivät kuulu liikennealueeseen.

# 1 Johdanto

Ihminen on syntymästään asti opetellut liikkumaan ja tasapainottelemaan kaksiuotteisessa ympäristössä maanpinnalla. Kokemusten kertyessä tämä kehitys jatkuu asteittain otettaessa ohjat mekaanisista kulkuneuvoista maalla ja vedessä. Mutta siirtäessä ilmaan täytyy selviytyä kolmannen ulottuvuuden kanssa ja kaikki aiemmin opitut ratkaisut kaksiuolotteisiin ongelmiin eivät enää riitä.

Lentokoneella lentämisen vaikeimpiin tehtäviin kuuluu kiitotien lähestymisen arvioiminen ja sitä seuraavat laskeutumistoimenpiteet. Kiitotietä lähestyttäessä on pidettävä huolta - lentokoneen nopeuden lisäksi - pysymisestä lähestymiskanavassa, mikä vaatii samanaikaisia korjausliikkeitä kaikissa kolmessa ulottuvuudessa. Laskeutuskulman ja -nopeuden hallinta ovat tärkeimmät tekijät turvallisen ja pehmeän laskeutumisen onnistumiseksi. Lentokoneella on normaalisti noin 185 – 300 *km/h* nopeutta, kun pyörät osuvat kiitotien pintaan, joten on tärkeää tarjota lentäjälle informaatiota jäljellä olevasta kiitotien pituudesta ja poistumisteistä. Kiitotieltä poistumisen jälkeen ja rullatessa lentoaseman monimutkaisia yhdysteitä pitkin lentäjälle on osoitettava turvallinen reitti lentokoneen pysäköintipaikalle. Lentoaseman valaistusjärjestelmä on kehitetty auttamaan edellä mainituissa tilanteissa. [1]

Lentokenttävalaistuksella tarkoitetaan valaisimia, joiden avulla lentäjälle välitetään informaatio kiitotien ja sen osien sijainnista, sekä oikeasta lähestymiskulmasta ja -suunnasta. Siihen kuuluu myös rullausopastekyltit, asematasojen valaistus sekä ohjaus- ja tunnistusvalot. Valaistusjärjestelmällä pyritään pääasiassa osoittamaan lentokentän ääriviivat, eikä niinkään valaisemaan itse kenttää.

## 1.1 Tutkimuksen taustaa

Finavialla ollaan siirtymässä uuden sukupolven lentokenttävalaistukseen. Käytännössä tarkoituksena on vaihtaa vanhat halogeenilamput ja -valaisimet uusiin LED-käyttöisiin vaihtoehtoihin. Valonlähteiden ja valaistuksen muuttaminen lentoasemalla ei ole yksinkertaista ja suoraviivaista, koska lentoliikennettä ja lentoasematoimintaa määrittelee suuri määrä EU:n säädöksiä, kansallista lainsäädäntöä, kansainvälisiä suosituksia ja näiden pohjalta annettuja ilmailumääräyksiä. Kaiken lähtökohtana on lentoturvallisuuden takaaminen. Lentokenttävalaistukseen liittyvän tarkan standardoinnin ja määräysten lisäksi Finavialla on asennettuna yli kymmenen tuhatta lentokenttävalaisinta ja lähes 500 rullausopastekylttiä pelkästään Helsinki-Vantaan lentoasemalla, minkä johdosta valaistuksen ja valaistusjärjestelmän muutoksia kohtaan ollaan kohtalaisen konservatiivisia ja muutosten vaikutuksia tulee tutkia sekä arvioida mahdollisimman kattavasti jo ennakoon.

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän diplomityön tavoite on selvittää mittausmenetelmiä ja laadullisia vaatimuksia, jotka johtavat parhaan LED-opastekyltin valintaan Helsinki-Vantaan lentoaseman uudishankintoihin. Tarkoituksena on toteuttaa lentokenttävalaistukselle osoitettujen vaatimusten mukaiset mittaukset ja muodostaa arvosteluperusteet

LED-opastekylteille, sekä tutkia markkinoilla olevien LED-pohjaisten opastekylttien sopivuutta Helsinki-Vantaan lentoasemalle. Mittausmenetelmät ja arviointiperusteet perustetaan nykyisiin määräyksiin. Evaluointi sisältää mekaanisen, sähkökemiallisen ja hydrodynaamisen ympäristösietoisuuden arvioinnin.

### 1.3 Työn rajaus

Tässä diplomityössä keskitytään pääasiassa vain uuden sukupolven LED-käyttöisiin rullausopastekyltteihin. Lentokenttävalaisimia käsitellään yleistasolla, koska opastekyltit ja valaisimet toimivat samassa ympäristössä ja yhdessä muodostavat valtaosan lentokenttävalaistuksesta. Halogeenivalonlähteiden ominaisuuksia ja toimintaa tarkastellaan siltä osin, että ymmärretään, mitä teknisiä vaatimuksia LED-pohjaisilta valonlähteiltä vaaditaan vanhojen valonlähteiden korvaamiseksi. Markkinatutkimus rajataan koskemaan kylttitoimittajan valintaa asiakasyrityksen - Finavian - näkökulmasta. Keskeisimpänä tutkimuskohteena ovat evaluointiperusteet ja mittausmenetelmät, joiden mukaan kylttitoimittajan valinta tehdään.

### 1.4 Tutkimusmenetelmät ja tutkimusaineisto

Tämä diplomityö pitää sisällään teoriaosuuden ja empiirisen osuuden. Työssä käytetään sekä kvalitatiivisia että kvantitatiivisia aineistonhankintamenetelmiä. Tutkimusaineistona käytetään myös Finavian henkilöstön aineetonta pääomaa.

Teoriaosuus pohjautuu kirjallisuuteen sekä puolistrukturoituun teemahaastatteluun. Haastateltavana on lentokenttävalaisimien tuotekehityksen ammattilainen. Empiirinen osuus muodostuu rullausopastekylteille suoritetuista sähkö- ja valaistus-teknisistä mittauksista.

### 1.5 Tutkimuksen rakenne

Diplomityö rakentuu kuudesta kappaleesta, joista jokaisessa esitellään tutkimuksen kannalta tärkeitä aiheita. Rakenne on pyritty laatimaan mahdollisimman loogisesti eteneväksi kokonaisuudeksi. Ensimmäisessä luvussa esitellään tutkimuksen taustaa, tavoitteet ja työn rajaus, sekä tutkimusmenetelmät. Toisessa luvussa keskitytään tutkimuksen teoriaosuuteen, jossa käsitellään lentokenttävalaistuksen määräyksiä, sähkönsyöttöjärjestelmä, olennaisten valonlähteiden ominaisuuksia ja rullausopastekylttien vaatimuksia. Kolmannessa luvussa selvitetään eri rullausopastekylttien ominaisuuksia kylttivalmistajien toimittamien dokumenttien perusteella. Neljäs luku käsittelee opastekylttien mittaus- ja testausmenetelmiä, sekä esittelee mittalaitteet. Viidennessä luvussa esitetään mittauksien tulokset, sekä arvioidaan ja analysoidaan tuloksia. Viimeisessä luvussa on yhteenveto ja johtopäätökset edellisiin lukuihin perustuen sekä suositus parhaasta kylttivaihtoehdosta.

## 2 Lentokenttävalaistus

### 2.1 Määräykset

Lentokenttävalaistuksen tulee noudattaa sekä kansallisia lakeja, asetuksia ja määräyksiä että kansainvälisiä asetuksia, direktiivejä, standardeja ja suosituksia. ICAO, International Civil Aviation Organization, on vuonna 1944 perustettu kansainvälinen siviili-ilmailujärjestö. Sen kaikki 191 jäsenvaltiota ovat sitoutuneet noudattamaan perussopimuksen ja Annex-liitteiden kuvaamia normeja (*Standard*) ja suosituksia (*Recommendation*). Lentokenttävalaistuksen osalta tärkein liite on Annex 14. [2][3]

European Aviation Safety Agency, on Euroopan lentoturvallisuusvirasto, johon kuuluu 32 jäsenmaata. Euroopan parlamentti ja neuvosto on antanut EASA:lle siviili-ilmailun turvallisuuden ja ympäristönsuojelun alalla lainsäädännöllisiä ja toimenpanevia tehtäviä. EASA:n säännökset pohjautuvat ICAO:n Annexeihin. [2][3]

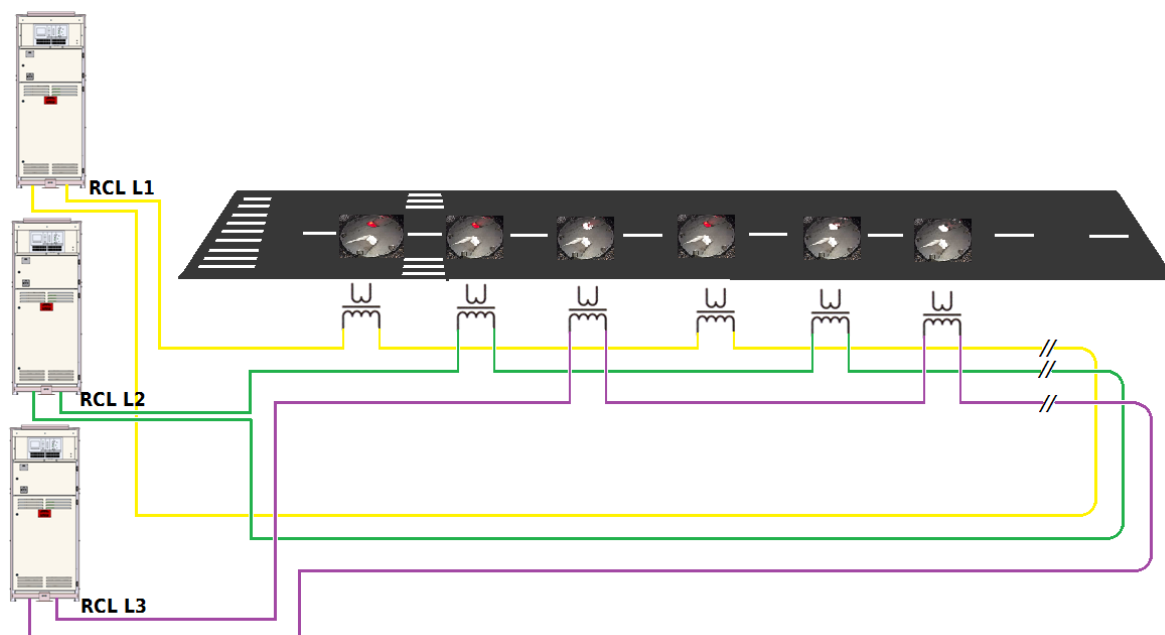
Trafi on Suomen ilmailuviranomainen, jonka tehtävänä on huolehtia ilmailun yleisestä turvallisuudesta, edistää ilmailun ympäristöystävällisyyttä ja hoitaa lentoliikenteeseen liittyviä asioita kansallisella tasolla. Trafi antaa ilmailumääräyksiä, myöntää lupia, valvoo luvanhaltijoita ja osallistuu sekä kansalliseen että kansainväliseen yhteistyöhön ilmailuun liittyen. Liikenne- ja viestintäministeriö valvoo ilmailulakia Trafin kautta. EU:n lainsäädäntö laajentuu ilmailussa, mutta Trafi antaa edelleen lakia täydentäviä kansallisia ilmailumääräyksiä. [2][3][4]

Valaistuksen osalta suurin osa ohjeista perustuu kansainvälisen siviili-ilmailujärjestön, ICAO:n, liitteeseen 14. ICAO:n Annex 14 käsittää määräyksiä, normeja ja suosituksia lentokenttien suunnitteluun ja toimintaan. Annexin lisäksi Suomessa on käytössä kansalliset ilmailumääräykset. Suomen ilmailumääräyskokoelmaan kuuluva kansallinen AGA (Aerodromes and Ground Aids), erityisesti lentoasemien hoitoon liittyvien määräysten osa M3, lakkautetaan vuoden 2017 lopussa. Korvaavat määräykset tulevat EASA:lta ja niiden tarkoituksena on yhdenmukaistaa säännökset EU:n sisällä. Tällä hetkellä on menossa siirtymäaika ja sekä kansallinen AGA että EASA ovat voimassa. EASA- ja AGA-määräykset pohjautuvat molemmat Annex 14:ään, mutta AGA sisältää muutamia kansallisia poikkeuksia - kuten talviolosuhteisiin liittyviä tekijöitä. Merkittävin ero on, että pääosin kaikki Annex 14:n suositukset (*Recommendation*) on kirjattu EASA:ssa määräyksiksi (*Should*). Tämän seurauksena EU:n ja kansallisten ilmailuviranomaisten tehtäväksi jää tulkita *should*-sanan merkitys. On mahdollista, että Finavia joutuu tekemään muutoksia tai lisäyksiä osalle lentoasemista. Esimerkiksi Helsinki-Vantaan lentoasemalla kiitoteiden lähestymislinjan matalatehovalaisimien väri on punainen ja EASA-määräykset vaativat valkoisia valoja. Punaiset valaisimet on todettu talviolosuhteissa paremmin näkyviksi kuin valkoiset, ja niihin on ollut Trafin poikkeuslupa. [3][4][5]

ICAO:n Annex 14 määrittelee opastekylteille mekaanisia ja näkyvyyteen liittyviä vaatimuksia. Opaskylteille on määritetty luminanssiarvot, värikoordinaatit, kirjaintyytit ja -koot, sekä kylttien dimensioita ja sijaintia liikennealueella. Annex 14 sisältää muun muassa määräyksiä valaisimien rakenteeseen, sijaintiin, valovoimaan ja valon väriin.

## 2.2 Sähkönsyöttöjärjestelmä

Helsinki-Vantaan lentoasemalla valaistuksen sähkönsyöttöjärjestelmä on sarjapiirimuotoinen, jossa valaisimet on kytketty erotusmuuntajien välityksellä sarjaan. Jokaista lentokenttävalaistuksen sarjapiiriä syötetään vakiovirtasäätimellä. Helsinki-Vantaan lentoaseman vakiovirtasäätimet on vastarinnankytkettyjä tyristoriparisäätimisiä ja niiden lähtöteho piirille voi olla  $30\text{ kVA}$ , mutta maksimi lähtövirta on vain  $6,6\text{ A}$ . Vakiovirtasäätimet sijaitsevat muuntoasemilla ympäri Helsinki-Vantaan lentoasemaa. [6]



Kuva 1: Havainnekuva kolmen vakiovirtasäätimen syöttämistä kiitotien keskilinjavalaisimien sarjapiireistä.

Lentokenttävalaistuksen toimintavarmuutta on parannettu jakamalla saman tarkoituksen valaisimet vuorotellen useampaan - yleensä kahteen tai kolmeen - erilliseen sarjapiiriin, jotta yhden piirin vikaantuessa vain osa valaisimista olisi pimeänä. Esimerkiksi yhden kiitotien keskilinjavalaisimet on jaettu kolmeen eri sarjapiiriin. Kuvassa 1 on periaatetasolla esitetty kolme vakiovirtasäädintä syöttämässä kolmea sarjapiiriä, joiden kuormana ovat erotusmuuntajat ja niihin kytketyt yhden kiitotien RCL-valaisimet.

Sarjapiirin ja vakiovirtasäätimen etuna on, että jokainen valaisin saa saman vakiona pysyvän virran, minkä ansiosta lamput palavat yhtä kirkkaina. Myös sarjapiirissä kulkevan pienen virran ansiosta siirtohäviöt ovat alhaisia. Toisaalta korkeat jännitetasot vaativat varovaisuutta sarjapiirin kanssa työskenneltäessä sekä riittävän eristystason ylläpitämistä säännöllisesti.



## 2.3 Visuaaliset opastelaitteet

Lentoasemalla liikennettä ohjataan pääasiassa radioliikenteen ja -navigointilaitteiden avulla, mutta visuaalisia opasteita tarvitaan edelleen, jotta lentäjille voidaan tarjota mahdollisimman kattava tilannetietoisuus. Visuaalisiin opastimiin kuuluvat opaskyltit, tienpinnan maalausmerkinnät ja lentoaseman valaisimet.

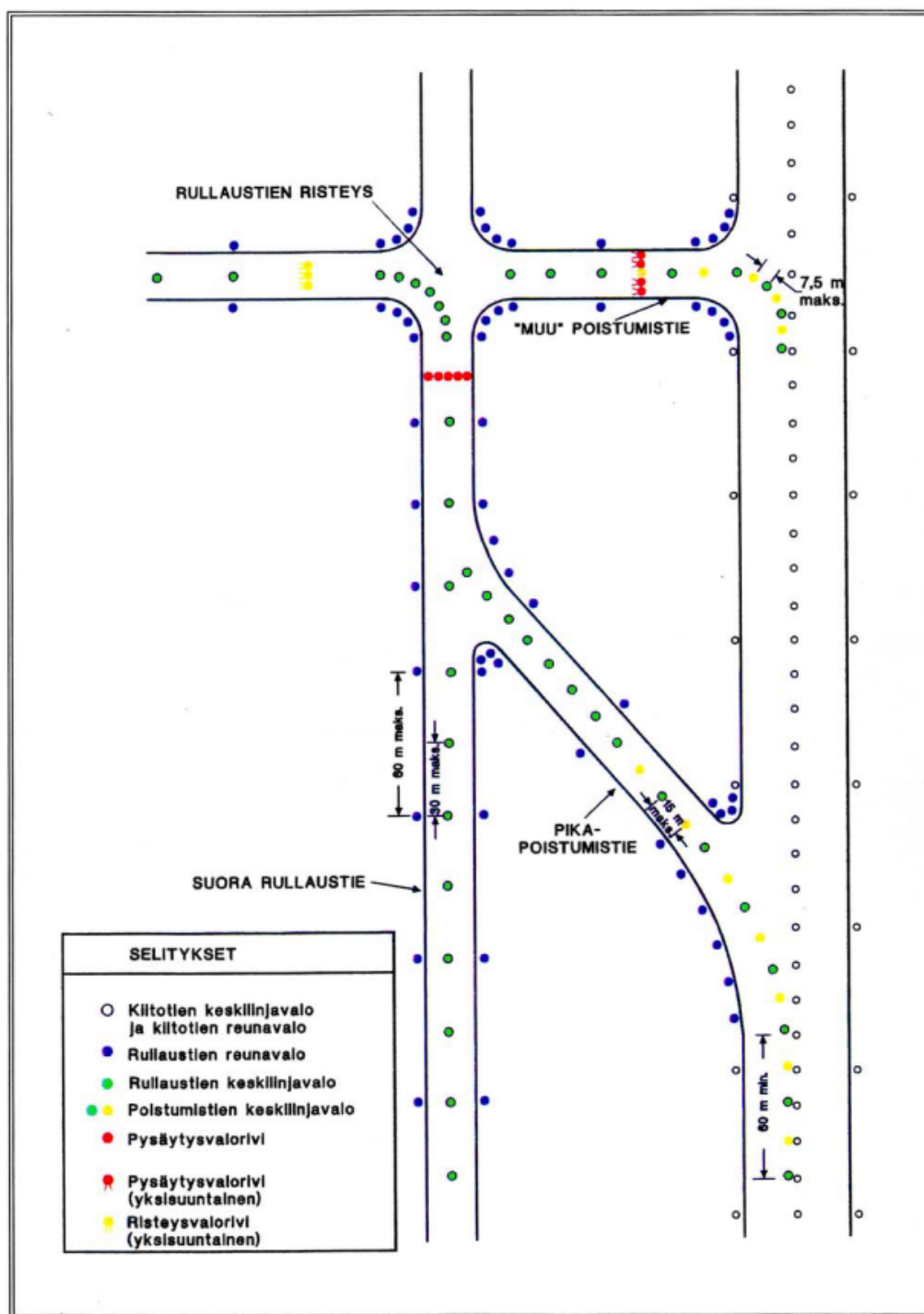
Lentokenttävalaistuksen tärkeimmät valaisintyypit ovat:

- kiitotievalot
  - kynnys- ja päätyvalot
  - kosketuskohtavalot
  - keskilinjavalot
  - reunavalot
- liukukulmavalot
- lähestymisvalot
- rullaustievalot
  - keskilinjavalot
  - reunavalot. [7]

Valaisimet voidaan jakaa pinnallisiin ja uppoasennettaviin valaisimiin rakenteen perusteella. Olosuhteet ja käyttötarkoitus määrittävät onko valaisin pinnalle asennettava vai upotettava. Liukukulmavalaisimet ja rullaustien reunavalot ovat aina pinnallisia valaisimia ja kosketuskohta- sekä keskilinjavalaisimet ovat aina uppo-mallisia. Muut valaisimet voivat olla pinta- tai uppoasennettavia. Kuvassa 2 on havainnollistettu rullaustien ja kiitotien valojen sijaintia lentoliikennealueella.

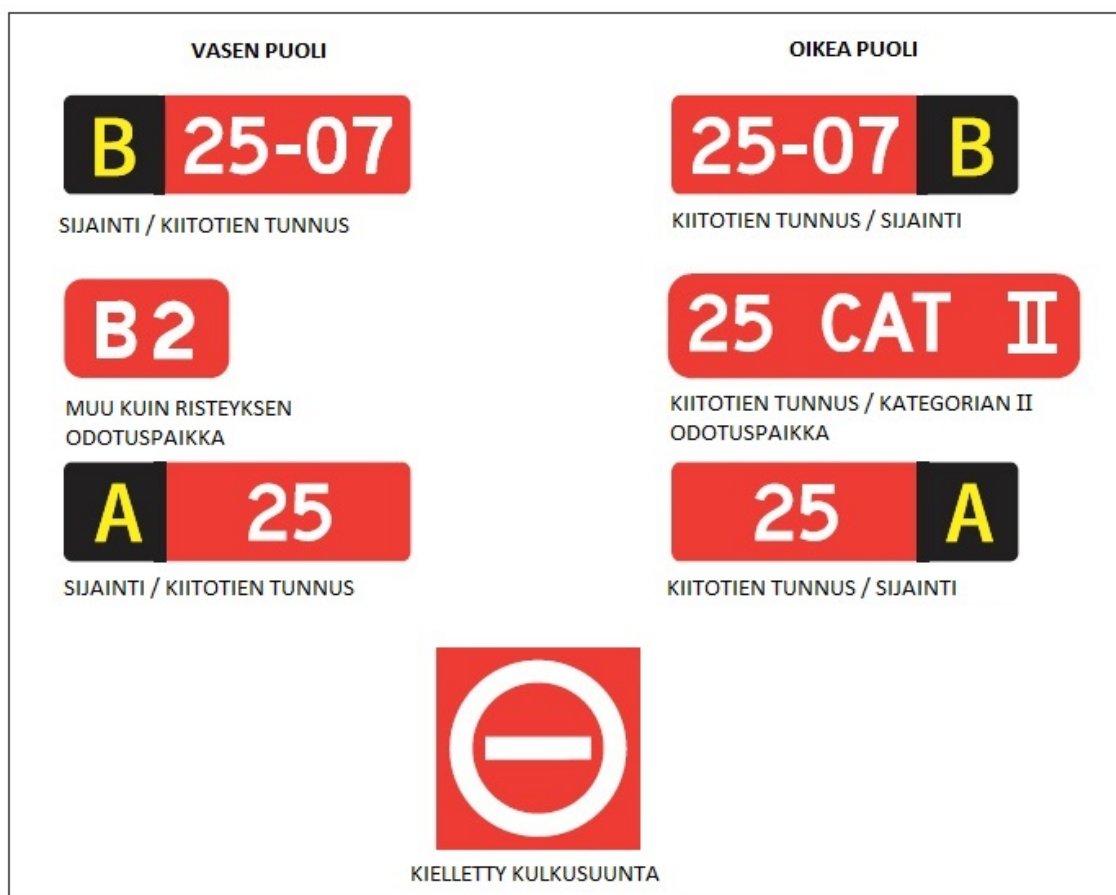
Valaisimien rakenteen tulee olla mahdollisimman vähän häirtävää tuottava ja turvallinen lentokoneille ja kunnossapitolaitteille. Upotettavan valaisimen korkeus kentän pinnasta tulee olla mahdollisimman pieni, jottei se aiheuta estettä lentokoneen pyörälle tai aurasikalustolle. Uppovalaisin ei saa vaurioitua siihen kohdistuvien mekaanisten rasitusten vuoksi. Lentokoneen pyörä ei saa vahingoittua pitkäaikaisessa kosketuksessa upotettavan valaisimen kanssa, joten valaisimen pintalämpötila on rajoitettava 160°C:seen. Pinnallisten valaisimien rakenteessa tulee olla mekaaniset ja sähköiset murtonivelet, jotka antavat periksi normaalista poikkeavan ulkoisen voiman kohdistuessa valaisimeen, kuten esimerkiksi lentokoneen törmätessä niihin. Korroosion välttämiseksi rakenteet ovat alumiinia tai lasikuituvahvisteista muovia. [1][7]

Sääolosuhteet vaikuttavat merkittävästi valonlähteen näkyvyyteen. Valaistusjärjestelmän valoja on voitava himmentää näkyvyysolosuhteiden mukaan. Tavoitteena on, ettei yhtäkään valoa jää huomaamatta, muttei myöskään saa häikäistyä. Helsinki-Vantaan lentoaseman vakiovirtasäätimille on asetettu viisi eri virtaporrasta, joilla valaistusta voidaan säätää. Virtaporrastat ovat normaalisti 6,6 A, 6,2 A, 4,6 A, 3,8 A



Kuva 2: Kiiotien ja rullaustien valot. [8, s.55]

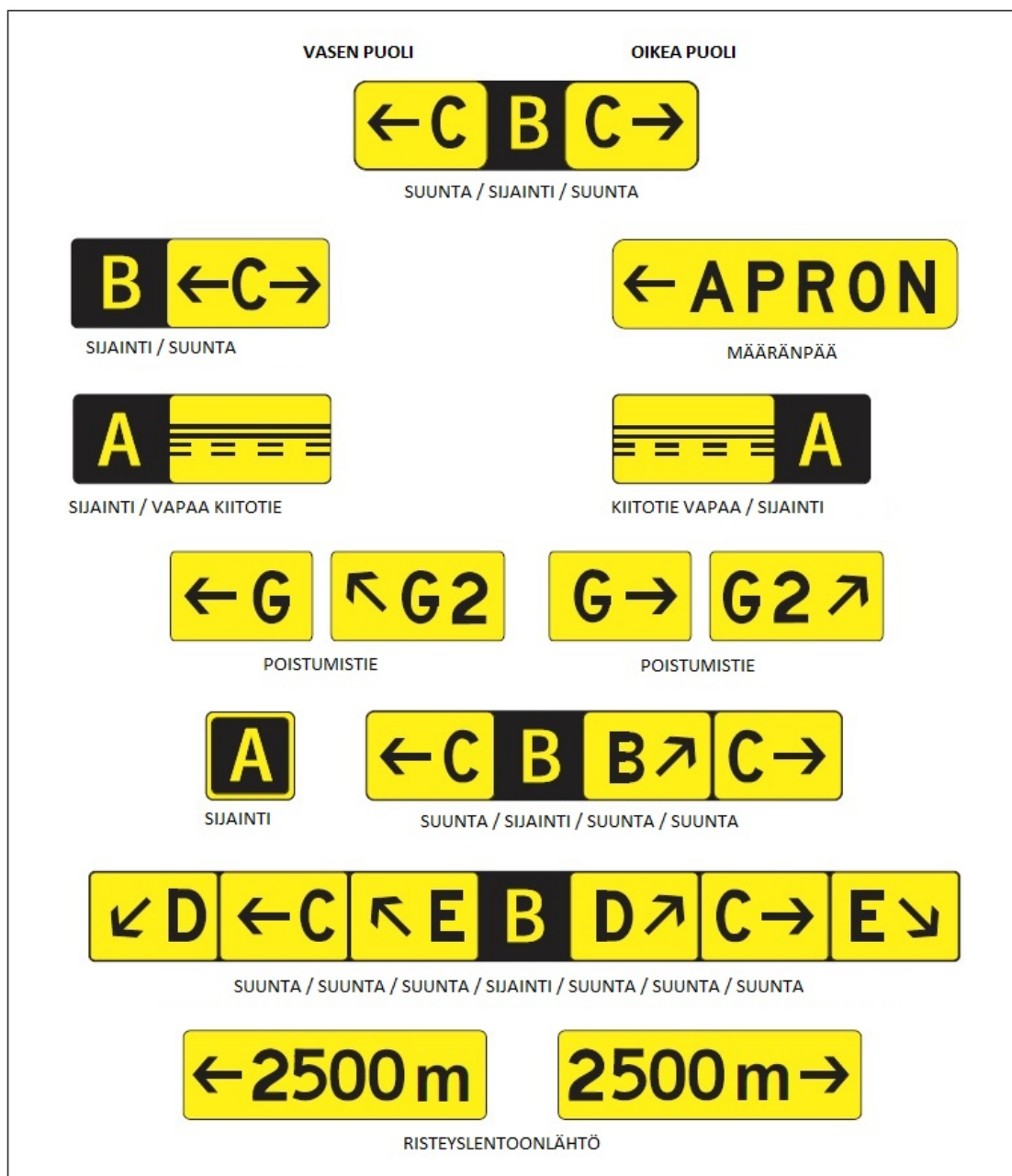
ja 3,3 A. Usein vakiovirtasäätimien ja valaisimien yhteydessä puhutaan virtaportaiden sijaan valaistustasoista, ja ne ovat vastaavasti 100 %, 30 %, 10 %, 3 % ja 1 % maksimivalovoimasta. Maailmalla on käytössä myös seitsemän virtaportaisia vakiovirtasäätimiä, joilla on edellä mainittujen valaistustasojen lisäksi 0,3 % ja 0,1 %.



Kuva 3: Määräävät kyltit. [9, s.173]

Lentoaseman rullausopastekyltit jaetaan kahteen kategoriaan: määrääviin kyltteihin (mandatory instruction sign) ja informaatiokyltteihin (information sign). Määräävissä kylteissä on valkoinen teksti punaisella taustalla. Informaatiokylteissä väritys on mustalla ja keltaisella. Annex 14 määrittelee kylteissä käytettävät kirjaintyypit ja -dimensiot, sekä värikoordinaatit ja luminanssiarvot. Kylttien tulee olla suora-kulmaisen muotoisia ja pitkän sivun on oltava vaakatasossa. Finaviolla on käytössä sisäpuolelta valaistut rullausopastekyltit. Helsinki-Vantaan lentoasemalla käytössä olevien opastekylttien etupinta on valmistettu hyvin valoa läpäisevästä muovista - akryylista tai polykarbonaatista, johon on värillisin teippauksin merkitty teksti ja tausta. Kylttien rungon sisällä olevien valkoisten valonlähteiden avulla kyltin informaatio näkyy hyvin sekä päivänvalossa että pimeällä. Maailmalla on lentokenttiä, joilla on käytössä LED-paneelikylttejä. Niihin voidaan esimerkiksi ohjelmoida vaihtuva teksti. LED-paneelikylttien näkyvyys on todettu riittämättömäksi Helsinki-Vantaan lentoaseman olosuhteisiin, eikä niitä siten ole käytössä opastekyltteinä.

Määräävät kyltit osoittavat odotuspaikkaa, josta rullaava lentoalus tai ajoneuvo ei saa liikkua eteenpäin ilman lennonjohdon lupaa. Punavalkoisia kylttejä käytetään kiitoteiden yhteydessä. Kylteillä ilmoitetaan lentäjälle kiitotie, jota kohti ollaan rullaamassa ja mahdollisesti kyseisen kiitotien kategoria sekä lentoaluksen nykyinen



Kuva 4: Informaatiokyltit. [9, s.174]

sijainti. Määräävät kyltit sijaitsevat kiitoteiden odotuspaikoilla. Kielletyn kulkusuunnan kyltti kuuluu myös määrääviin kyltteihin ja on sijoitettu alueen alkuun, jonne meneminen on kielletty tai jolla kulkeminen on sallittu ainoastaan toiseen suuntaan. Kuvassa 3 on esitetty määräävät kyltit. [9]

Informaatiokyltit ilmaisevat tiettyä sijaintia tai reittiä. Näihin kyltteihin kuuluvat suunta-, sijainti-, määränpää- ja poistumistiekyltit, sekä vapaan kiitotien kyltit. Kel-tamustia kylttejä käytetään, kun on tarpeen osoittaa sijainti tai antaa rullausreittiä koskevaa tietoa. Sijaintia kuvaavan kyltin kirjoitus on keltaisella värillä ja keltaisilla

kehyksillä mustalla taustalla. Jos sijaintitieto on osa suurempaa kylttiä, niin keltaista reunusta ei tule olla ICAO Annex 14:n mukaisissa kylteissä. Reittiä kuvaavat kyltit ovat mustalla kirjoituksella ja keltaisella taustalla. Mahdollisia informaatiokylttejä on esitetty kuvassa 4. [9]

Helsinki-Vantaan lentoasemalla kyltit on kytketty rullausteiden reunavalojen kanssa samaan sarjapiiriin, eli kyltit palavat samaan aikaan ja samalla virtaportaalla kuin kyseisen piirin reunavalot. Poikkeuksena ovat lentokoneiden pysäköintipaikkakyltit, jotka kiinnitetään asematasojen valaisinmastoihin ja niiden sähkösyöttö on perinteinen 230 voltia vaihtojännitettä. Reunavaloja ja opaskylttejä voidaan käyttää 100 % ja 30 % teholla maksimivalovoimasta.

## 2.4 Helsinki-Vantaan lentoasemalla käytettävien valonlähteiden ominaisuudet

Helsinki-Vantaan lentoaseman nykyinen valaistus on tuotettu lähes kokonaan halogeenilampuilla. Lentokenttäympäristön korkea vaatimustaso valonlähteille lienee syy miksi halogeenit ovat olleet *de facto* -lampputyyppejä lentokenttäalueella. Valonlähteiltä vaaditaan muun muassa nopeaa syttymisaikaa, suurta valovoimaa, himmennuksen säätöä, mekaanista kestävyyttä ja mahdollisimman pitkää käyttöikää. Aivan viime vuosiin asti halogeenilamput ovat pystyneet parhaiten vastaamaan edellä esitettyihin vaatimuksiin. Lisäksi halogeenien pieni fyysinen koko verrattuna hehkulamppuihin tai loisteputkiin on parantanut sen käyttömahdollisuuksia lentokenttävalaisimissa. Halogeenien hehkulanka toimii normaalilla lämpötila-alueella noin 2300 – 3200°C ja säteilee jopa 80 % tuottamastaan lämmöstä, jolloin valaisin kuumenee selvästi [10][11]. Tosin tämä säteilevä lämpö on koettu hyödyllisenä Finavian lentoasemilla talvikuukausina, koska valaisimet eivät jäädy tai huurru pakkasilla. Lentokenttävalaisimissa käytettävien halogeenilamppujen nimellisvirta on 6,6 A, mutta usein valaisimia käytetään pienemmillä virran arvoilla lamppujen eliniän pidentämiseksi. Nimellisvirralla halogeenilamppujen polttoikä on noin 1000 – 1500 h [7]. Alentamalla virtaa 1,5 – 3,0 % nimellisvirrasta vähenee valovoima noin 5 – 10 %, mutta lampun polttoikä kasvaa 1,5-kertaiseksi verrattuna nimellisvirtaan [7]. Helsinki-Vantaan lentoasemalla on käytännössä todettu, että jatkuvasti pitkiä aikoja matalalla virralla syötettyjen halogeenivalaisimien valovoima on jäänyt pysyvästi alhaiselle tasolle, eikä virran nostaminen nimellistasolle ole parantanut valaisimien valovoimaa. Tästä syystä Finavian lentoasemilla joudutaan välillä käyttämään halogeenivalaisimia korkeammilla virta-arvoilla kuin olosuhteet vaativat, jolloin kulutetaan turhaan lamppuja ja sähköä.

Maaailman lentokentillä on käytössä valonlähteinä myös loisteputkia. Loisteputkia käytetään esimerkiksi opastekylteissä. Helsinki-Vantaan lentoasemalla on myös ollut testikäytössä loisteputkikylttejä, mutta niiden kanssa koettiin merkittäviä ongelmia ja niiden käytöstä luovuttiin. Loisteputkien himmennettävyyttä oli yksi ongelmista. Halogeenilamppujen hyviä ominaisuuksia on niiden resistiivinen kuorma ja himmentäminen suoraan syötettävää virtaa säätämällä. Vastaavasti loisteputkilamput vaativat elektroniikkaa himmentämistä varten, mikä lisää vikaantumisriskiä ja kuorman induktiivisuutta. Helsinki-Vantaan lentoasemalla olleet loisteputkikyltit eivät

olleet vesi- ja pölytiivitä, jolloin niiden sisällä olleet loisteputkien liitälaitteet tuhoutuivat jatkuvasti ja toistuvasti.

LED-teknologian nopea kehitys on mahdollistanut käytön myös lentokenttävalaistuksessa. Kaikki suuret lentokenttävalaistukseen keskittyneet yritykset tarjoavat LED-pohjaisia valaisimia ja opastekylttejä. Idman Airfield Lighting Oy:n Senior Optical Designer Pauli Kiiverin mukaan ledit ovat jo kehittyneet halogeenien ohi lentokenttävalaistuksessa ja optisesti "ledeillä on helpompi toteuttaa valaisimia." [11]

Ledien etuja ovat hyvä hyötysuhde, erittäin pieni säteilevä pinta-ala, pitkä elinikä, nopeat syttymis- ja sammumisajat, sekä mekaaninen kestävyys lasikuvun ja hehkulangan puuttuessa. Ledit tuottavat vain noin 20 % lämpöä siitä mitä halogeenit tuottavat. Ledeillä on selvästi parempi hyötysuhde halogeeneihin verrattuna, koska kaikki tuotettu valo on näkyvällä spektrillä ja halogeenit tuottavat sekä infrapuna- että ultraviolettisäteilyä [10][11]. Ledien tuottama lämpö ei ole säteilevää vaan se täytyy johtaa pois puolijohdekomponentilta. Halogeenien lämpösäteilystä noin 80 % säteilee pois optiikan läpi [11]. Pienempi säteilevä pinta-ala mahdollistaa pienempien linssien ja heijastimien käytön, sekä helpottaa valon kohdistamista. Kompaktimpi valaisin on parempi lentokenttävalaistuksessa. LED-valmistajat ilmoittavat yleensä noin 10000 – 30000 tunnin käyttöiän normaaleissa olosuhteissa, jolloin valonlähteen valovirta on laskenut 70 %:iin alkuperäisestä arvosta. Korkea käyttölämpötila ja suuri syötetyn virran arvo vaikuttavat ledien polttoikään negatiivisesti, mutta eivät yhtä paljon kuin halogeeneilla [11]. Led-valaisimia pystytään himmentämään, kuten halogeenivalaisimia. Ledejä himmennetään joko syöttövirtaa säätämällä tai pulssinleveysmodulaatiolla.

Suuritehoisissa valaisimissa ledeillä on ollut ongelmia, kun hyvästä hyötysuhteesta huolimatta valovoima ei riittänyt kaikkein haastavimpiin käyttötarkoituksiin. Nykyisin tämäkin ongelma on jo ratkaistu. Tällä hetkellä ledien ongelmat ja haasteet lentokenttävalaistuksessa liittyvät pääasiassa standardeihin, jotka on luotu halogeenien ominaisuuksille. Nykystandardeissa vaaditaan, että ledien on toimittava 6,6 A:n vakiovirtapiireissä, vaikka tehokkaille led-valaisimille riittäisi noin 2,5 A virta täydelle teholle. Tämän takia valaisimiin joudutaan suunnittelemaan enemmän elektroniikkaa, jotta ledit toimivat halogeenien tavoin halogeeneille tarkoitetuissa systeemeissä. Standardien kehittyessä vain ledejä varten alkaa muodostua suurempia säästöjä, kun koko lentokenttävalaistus voidaan suunnitella kahden ampeerin vakiovirtapiirille, jolloin myös käytettävät muuntajat ja sarjakaapelit olisivat pienempiä. [11]

Valonlähteen ollessa pistemäinen voidaan toisistaan erottaa vain neljä väriä, mikä korostaa värirajojen valinnan tärkeyttä lentoturvallisuuden takaamiseksi [7]. Lentoliikenneympäristössä käytetään useampaa kuin neljää väriä, jotta yhdelle värille ei aseteta liian montaa merkitystä. Valojen värit on rajattu valkoiseen, punaiseen, oranssiin, keltaiseen, vihreään ja siniseen. Halogeenivalaisimissa värit tuotetaan värisuotimilla, mutta ledien säteilemän monokromaattisen valon kanssa suotimet eivät toimi riittävän hyvin. Led-valaisimissa aidot värit tuotetaan suoraan puolijohdeliitoksessa energiavälien avulla. Valkoinen väri tuotetaan fosforikonversiolla, jossa sinisen ledin pinnalle lisätään ohut loisteainekerros, joka luo laaja spektristä valkoista valoa. Ledien säteilemä kapea spektrinen valo eroaa halogeenivalaisimien suotimilla tuotetuista väreistä - erityisesti huonossa näkyvyydessä. Esimerkiksi samanväristen led-

ja halogeenivalaisimien valovoimien ollessa identtisiä, ihminen kokee ledin monokromaattisen valon kirkkaampana. Valovoiman jakautuminen kapeammalle spektrille tuottaa voimakkaamman näköaistimuksen kuin vastaavan valovoiman jakautuminen laajemmalle spektrille. Tämä saattaa häiritä lentäjiä, minkä vuoksi ei ole suositeltavaa sijoittaa samantyyppisiä led- ja halogeenivalaisimia samoille lentoaseman osille. [12]

## 2.5 LED-opastekylttien vaatimukset

Helsinki-Vantaan lentokenttäalueella sijaitsevien kylttien mekaaniset, sähköiset sekä näkyvyyteen liittyvät ominaisuudet ja vaatimukset on muodostettu Annex 14:n pohjalta. Tämän lisäksi Suomen ilmastolliset olosuhteet ja lentoaseman erityispiirteet asettavat lisävaatimuksia kylteille, mitkä tulee huomioida evaluoinnissa.

### 2.5.1 Mekaaniset vaatimukset

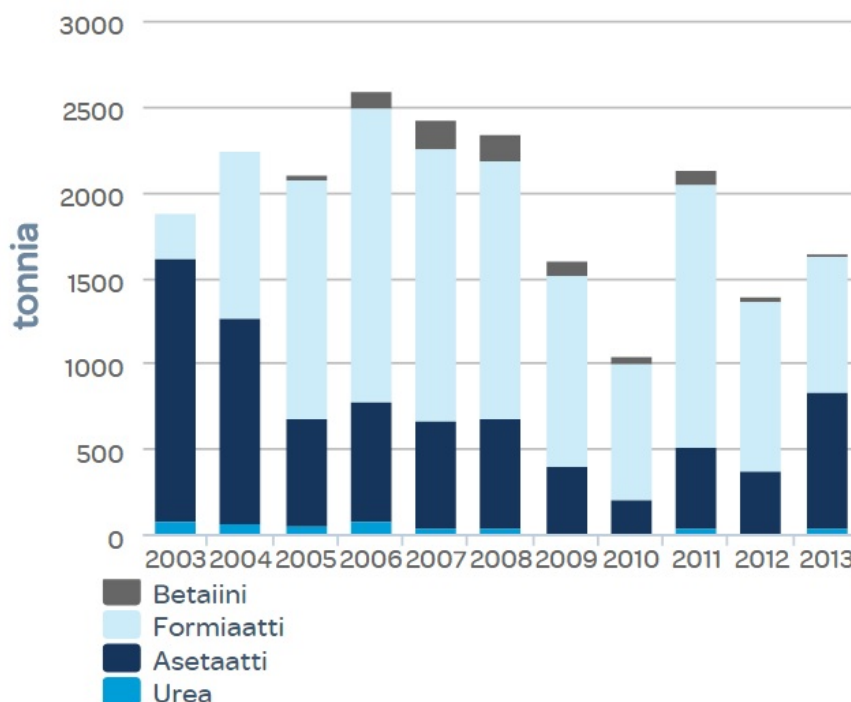
Kylttien tulee olla kestäviä, mutta särkyviä mekaaniselta rakenteeltaan. Kylttien on kestävä hyvin talvikunnossapitoa, kuten lumenlinkousta. Erityisesti kyltin etupintalevyn on oltava tiukasti kiinni rungon raameissa. Kotelon pöly- ja vesitiiveys tulee olla vähintään IP54 eli suojattu pölyltä ja roiskuvilta vedeltä. [13]

Suomen ilmaston ja vuodenaikojen vuoksi kylttien hyvä kestävyys kosteutta ja tavanomaisia, pääasiassa asetaatti- ja formiaattipohjaisia, liukkaudentorjunta-aineita vastaan on tärkeää. Finaviolla käytetään nestemäisiä kaliumasetaattia ja -formiaattia kuuran ja ohuen jään poistoon. Paksumman jään poistoon on käytössä rakeisia aineita eli natriumasetaattia tai -formiaattia. Helsinki-Vantaan lentoasemalla käytetään pääasiassa vain formiaattipohjaisia liukkaudentorjunta-aineita [14]. Finavian lentoasemilla käytetään noin 80 %:sesti nestemäisiä liukkaudentorjunta-aineita, sillä kiitotielle muodostuu hyvin harvoin paksua jääpeitettä. Kuvassa 5 on esitetty Finavian käyttämät liukkaudentorjunta-aineet ja niiden määrät kaikilla lentoasemilla. [15]

Helsinki-Vantaan lentoasemalla runsaasti käytettävä kaliumformiaatti on erittäin emäksinen aine. Kaliumformiaattituotteiden pH on yleensä 9-12 ja hyvän sähkönjohtavuuden takia aiheuttaa helposti galvaanista - metallien sähkökemiallista - korroosiota ja sähköliittimien oikosulkuja ja ruostumista. Kaliumformiaatin viskositeetti on pieni ja pintajännitys on pienempi kuin vedellä. Tämän takia se voi kulkeutua pienistä raoista ja jopa vesitiiviiden sähkölaitteiden ja -liittimien sisälle aiheuttaen ongelmia. [17]

Asetaattien ja formiaattien korroosiavaikutuksia on tutkittu Suomessa jonkin verran. Suomen ilmavoimat teetti vuosina 2005-2006 korroosioselvityksen Tampereen yliopiston materiaaliopin laitoksella liukkaudentorjunta-aineiden korroosiovaikutuksista, koska lentokalustossa esiintyi 1990-luvun loppupuolella uudenlaisia ja kasvaneita korroosio-ongelmia. Tutkimuksessa oli kuusi eri materiaalia; kolme alumiiniseosta, suurlujuusteräs, titaaniseos ja magnesiumseos. Helsinki-Vantaan lentokenttäalueen kylttien rungot on yleensä valmistettu alumiinista. [17][18]

Ilmavoimien tutkimuksessa selvisi, että kaliumformiaattia voidaan käyttää suojaamattoman ja anodisoidun alumiiniseoksen kanssa. Korroosio-ongelmia havaittiin



Kuva 5: Finavian lentoasemilla käytetyt liukkaudentorjunta-aineet vuosittain. [16]

suurlujuusterästen ja magnesiumseosten kanssa. Tutkimuksessa havaittiin aineen pH:n ja sähkönjohtavuuden kuvaamaan suhteellisen hyvin sen syövyttävyyttä yleisellä tasolla. Neutraalimpi pH ja heikompi sähkönjohtokyky tarkoittaa vähäisempää korroosiota. Sähkölaitteiden toimintaan sekä asetaatti- että formiaattipohjaiset aineet vaikuttavat erittäin vahingollisesti. Havaintojen perusteella jopa tiivis sähköliitin iski läpi ja liukkaudentorjunta-ainetta löytyi liittimen sisältä altistuksen jälkeen. [17]

Tuuli- ja lämpökuormitus, sekä iskunkestävyys ja hajoavuus tulee noudatella mahdollisimman tarkasti standardia ENV 50235. Tuulikuormituksen osalta kylttien tulisi kestää 40 *m/s* puhaltavaa tuulta mistä tahansa suunnasta ja etupinnan suunnasta lentokoneen turbiiniin tai 70 *m/s* puhaltavan tuulen puhalluksen.

Kiitotien ja rullaustien lähellä sijaitsevien kylttien tulee olla riittävän matalia, jotta turvallinen välimatka säilyy lentokoneen potkureihin tai suihkukoneen turbiineihin [9]. Helsinki-Vantaan lentoasemalla kyltit tulee olla asennettavissa 1100 *mm* korkeuteen asti mitattuna perustuksesta kyltin yläreunaan. Törmäysturvallisuuden takaamiseksi opaskyltit täytyy pystyä asentamaan murtonivelille, jotka rikkoutuvat lentokoneen tai muun ajoneuvon törmäyksestä kylttiin. Lisäksi kyltit täytyy varustaa ankkurointipisteellä ja asennettavaksi laattaperustalle. Lentokonepaikkakyltit tulee voida asentaa asematasojen valaisinmastojen runkoihin, joiden halkaisija on noin 600 *mm*. Kyltin etupinnan tulee olla vaihdettavissa ja kotelon värin on oltava ilmailunkeltainen. Helsinki-Vantaan lentoasemalla ilmailunkeltainen väri tarkoittaa RAL1021 ja RAL1023. [13]



### 2.5.2 Sähköiset vaatimukset

Kylttien sähköiset vaatimukset muodostuvat käytössä olevan sähkönsyöttöjärjestelmän piirteiden mukaan. Kyllit kytketään osaksi sarjapiiriä, jota syötetään vakiovirralla tyristorisäätimiltä. Sarjapiirien kuormana voi olla muutakin kuin opaskylttejä, kuten suurimmaksi osaksi halogeeni- ja led-pohjaisia rullausteiden reunavalvoja. Poikkeuksena ovat lentokonepaikkakyltit, jotka tulee toimia 230 V AC eli verkkojännitteellä. Kylttien sähköliittimet tulee sopia standardin mukaisesti AFL-piiriin liittimiin ja muuntajiin. Kylltiin kytkettävän erotusmuuntajan suositeltava enimmäisteho on 200 W. Lentoliikenneturvallisuuden takia kyltin tulee syttyä välittömästi sekä normaalitilanteessa että häiriön jälkeen. Kyllin sisälle asennetut valonlähteet on vuoroteltava vähintään kahdeksi ryhmäksi, joilla on toisistaan erillinen sähkönsyöttökaapelointi. Kaapeloinnin läpivienti tulee olla kotelon takaseinän alareunan toisessa kulmassa. Kylttien himmettävyys tulee olla 10 – 100 %. [13]

### 2.5.3 Näkyvyysvaatimukset

Kylttien keskimääräiset luminanssit eri väreillä tulee täyttää Annex 14:n vaatimus olosuhteille  $RVR < 800 m$ :

Punainen	$\geq 30 \text{ cd/m}^2$
Keltainen	$\geq 150 \text{ cd/m}^2$
Valkoinen	$\geq 300 \text{ cd/m}^2$

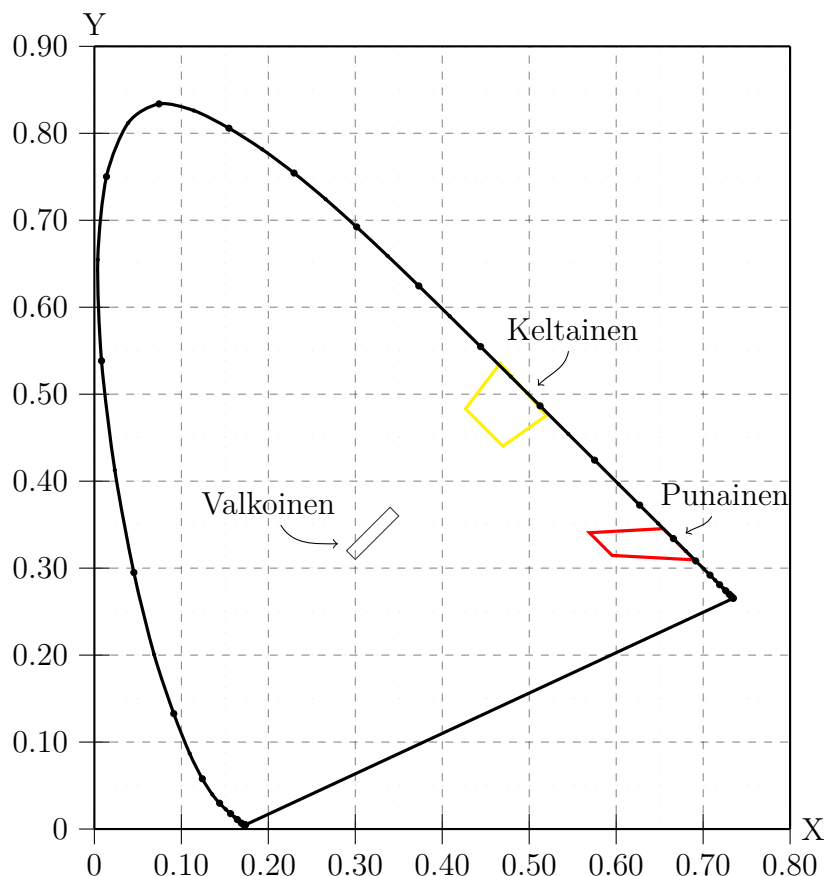
Määraävien kylttien punaisen ja valkoisen värin luminanssien suhde tulee olla 1:5 ja 1:10 välillä. Kaikkien kylttien samanväristen vierekkäisten mittauspisteiden välinen kontrastiero ei saa olla enempää kuin 1.5:1, eikä maksimi- ja minimiluminanssien suhde saa ylittää 5:1.[9, liite 4]

Kaikkien näköopasteiden värikoordinaatit on määritelty kaksiulotteisen CIE x,y-kromaattisuusdiagrammin avulla. Kaksiulotteisessa xy-väriavaruudessa toisiaan leikkaavat suorat määrittävät rajat värikoordinaateille. Kuvassa 6 CIE x,y-kromaattisuusdiagrammiin on merkitty ICAO Annex 14:n määräämät värikoordinaattirajat. Sisältä valaistujen kylttien CIE-yhtälöt ovat:

Punainen	
Violetin raja	$y = 0,345 - 0,051x$
Valkoisen raja	$y = 0,910 - x$
Oranssin raja	$y = 0,314 + 0,047x$

Keltainen	
Oranssin raja	$y = 0,108 + 0,707x$
Valkoisen raja	$y = 0,910 - x$
Vihreän raja	$y = 1,35x - 0,093$

Valkoinen	
Violetin raja	$y = 0,010 + x$
Sinisen raja	$y = 0,610 - x$
Vihreän raja	$y = 0,030 + x$
Keltaisen raja	$y = 0,710 - x$



Kuva 6: CIE x,y-kromaattisuusdiagrammi

Visuaalisuuden osalta Annex 14:n liite 4 määrää kylttien ja kylteissä käytettävien kirjasimien korkeuden, sekä kirjasinten ja kirjainvälien leveydet. Helsinki-Vantaan lentoasemalla kiitotien poistumiskylttien ja odotuspaikkakylttien etupinnan tulee olla 800 mm ja tekstin 400 mm korkeat. Muille kylteille suositellaan 600 mm:n etupintaa ja 400 mm:n tekstiä. Kirjasimen viivanleveyden tulee olla kaikilla kylteillä 64 mm. [9, liite 4][13]

## 2.6 Helsinki-Vantaan lentoaseman LED-pohjaiset visuaaliset opastelaitteet

Helsinki-Vantaan lentoasemalle on asennettu kolmen eri valmistajan LED-lentokenttävaloja. Valaisimia on sijoitettu hajautetusti eri puolella lentokenttäaluetta, jotta mahdollis-

ten tyyppivikojen esiintyessä yksikään kokonainen lentoaseman alue ei pimene täysin. Asennetut LED-valot ovat sekä pinnallisia että uppovalaisimia. Helsinki-Vantaan lentoaseman ilmailusähkö -yksikön suunnitelman mukaan LED-lentokenttävaloihin tullaan investoimaan tasaisesti seuraavien viiden vuoden aikana. Lähitulevaisuuden tarkoituksena on vaihtaa kaikki lentokenttävalaisimet LED-toimisiksi.

LED-valaistut kyltit on, LED-valaisimien tavoin, asennettu eri puolille lentoasemaa. Suurin osa LED-kylteistä on kuitenkin APN8-alueella lentokoneiden jäänpoistopaikan läheisyydessä lentokentän eteläosassa. Testiasennettuja LED-kylttejä on ostettu neljältä valmistajalta ja lisäksi muutama vanhoista halogeenilampuilla toimivista kylteistä on muokattu LED-toimisiksi erään kotimaisen yrityksen toimesta.

### 3 Helsinki-Vantaan lentoaseman LED-rullausopastekyltit

Syksyllä 2013 Finavia lähetti tarjouspyynnön usealle rullausopastekylttien valmistajalle. Finavian vaatimuksena oli ledien käyttö kylttien valonlähteenä. Tarjouspyyntöön vastanneilta kylttivalmistajilta tilattiin kylttejä testiasennettavaksi Helsinki-Vantaan lentoasemalle. LED-pohjaisten rullausopastekylttien testiasennukset suoritettiin talven 2013-2014 aikana.

Kylttejä on tilattu neljältä eri valmistajalta ja lisäksi viides yritys on modifioinut vanhoja halogeenipohjaisia opastekylttejä LED-käyttöisiksi. Testijakson tavoitteena on selvittää kuinka hyvin uudentyyppiset opastekyltit toimivat Helsinki-Vantaan lentoaseman olosuhteissa ja minkä valmistajan kyltti valikoituu tuleviin uudishankintoihin.

Tässä luvussa esitellään kylttien teknisiä ominaisuuksia ja rakenteiden materiaalit valmistajien ilmoittamien tietojen perusteella. Rullausopastekylteistä on taulukoitu kyltin etupinnan leveys ja korkeus, sähköinen toiminta-alue, valonlähteen tyyppi ja teho, sekä koko kyltin elektroniikan tehonkulutus ja teho suhteessa etupinnan kokoon. Myös kylttikotelon IP-luokitus, etupaneelin tekstin korkeus ja kylttiin kytketävän erotusmuuntajan teho on taulukoitu. Taulukoinnin tarkoituksena on helpottaa kylttien välistä vertailua.

#### 3.1 Safegate

Safegatelta on tilattu kolmea eri kylttimallia: uusi slim-mallinen LED-kyltti, edellistä vanhempaa mallia oleva LED-rullausopastekyltti ja loisteputkilampuilla varustettu verkkojännitteellä toimiva lentokoneen pysäköintipaikan koordinaattikyltti. Tämän tutkimuksen mittaus- ja evaluointisarjaan kuuluu Safegatelta yksi uudenmallinen slim-kyltti, kolme erikokoista vanhemman sukupolven LED-kylttiä ja yksi lentokonepaikan koordinaattikyltti. Taulukossa 1 on esitetty Safegaten kylttien keskeisimmät ominaisuudet. SGN439 on uusi slim-kyltti, SGN716 on lentokonepaikan koordinaattikyltti ja SGN663b, SGN700a sekä SGN702a ovat vanhempaa LED-mallia.

Kaikki Safegaten kyltit ovat valmistajan mukaan ICAO Annex 14 -mukaisia. Kylttien etupaneeli valmistettu neljä millimetriä paksusta UV-kestävästä polykarbonaatista. Etupaneelille Safegate antaa viiden vuoden takuun. Etupaneelin teksti on painettu sisäpinnalle takaamaan pidempää elinikää. Kylttien kotelot ja jalat on valmistettu alumiinista ja jauhemaalattu ilmailunkeltaisiksi. Slim-mallisen kyltin kotelo on lisäksi anodisoitu, minkä tarkoituksena on parantaa alumiinin korroosion kestävyyttä. Kylttien kiinnittimet on valmistettu ruostumattomasta teräksestä. Uudenmallisen kyltin luvataan toimivan  $-40\ldots+70^{\circ}\text{C}$  lämpötiloissa ja vanhemman LED-mallin  $-25\ldots+55^{\circ}\text{C}$ . [19][20][21][22]

Safegaten LED-kylteillä on merkittävästi pienempi tehonkulutus pinta-alaa kohti kuin loisteputkin valaistulla koordinaattikyltillä (taulukko 1). Huomion arvoista on myös uudenmallisen slim-kyltin tehon ja pinta-alan suhteen noin puolet pienempi arvo kuin vanhemman mallisella LED-kyltillä.

Taulukko 1: Safegate-kyttilien ominaisuudet. [19][20][21][22][23]

	<b>SGN439</b>	<b>SGN663b</b>	<b>SGN700a</b>	<b>SGN702a</b>	<b>SGN716</b>
<i>Koko (mm<sup>2</sup>)</i>	3000 x 700	1600 x 700	2500 x 700	3000 x 900	900 x 900
<i>Sähkönsyöttö</i>	6,0 - 6,6 A	6,0 - 6,6 A	6,0 - 6,6 A	6,0 - 6,6 A	230 VAC
<i>Valonlähde</i>	LED	LED	LED	LED	Loisteputki
<i>Valonlähteen teho (W)</i>	34	1x 28	2x 25	2x 28	4x 18
<i>Kyltin teho (W)</i>	43	54	77	84	72
<i>Teho per pinta-ala (W/m<sup>2</sup>)</i>	20,5	48,2	44,0	40,0	88,9
<i>IP-luokitus</i>	IP67	IP64	IP64	IP64	IP64
<i>Etupinnan tekstin korkeus (mm)</i>	300	300	300	400	80
<i>Muuntaja (W)</i>	45	65	100	100	-

### 3.2 All About Signs

All About Signs -kyttilien etupaneeli on valmistettu PMMA:sta - eli akryylista. Etupinnan teksti on tehty liimattavilla 3M:n 3630-sarjan värikalvoilla. Kyttilikotelot on valmistettu alumiinista ekstruusiolla eli suulakepuristamalla. Kyttilien alumiiniset kotelot ja jalat on jauhemaalattu ilmailunkeltaisiksi. Kyttilien kannattimet ja kiinnikkeet ovat ruostumatonta terästä. Kyttilien toimintalämpötilaksi ilmoitetaan -20...+55°C. All About Signs tarjoaa kylteille viiden vuoden takuun. Taulukkoon 2 on listattu All About Signs -kyttilien tekniset ominaisuudet. All About Signs lupaa kyttilien noudattavan ICAO Annex 14:ta. [24]

Taulukko 2: All About Signs -kyttilien ominaisuudet. [24]

	<b>SGN669b</b>	<b>SGN703b</b>
<i>Koko (mm<sup>2</sup>)</i>	2000 x 700	2000 x 900
<i>Sähkönsyöttö</i>	6,0 - 6,6 A	6,0 - 6,6 A
<i>Valonlähde</i>	LED	LED
<i>Valonlähteen teho (W)</i>	4x 7	6x 7
<i>Kyltin teho (W)</i>	30	45
<i>Teho per pinta-ala (W/m<sup>2</sup>)</i>	21,4	25,0
<i>IP-luokitus</i>	IP65	IP65
<i>Etupinnan tekstin korkeus (mm)</i>	400	400
<i>Muuntaja (W)</i>	45	45

### 3.3 International Airfield Technology

International Airfield Technology nimistä yritystä ei enää löydy, vaan fuusioitumisen tai pelkän nimenvaihdon vuoksi yritys on nykyisin AviMar ApS. IAT on entiseltä nimeltään AGLsign. Tässä työssä yritykseen viitataan kuitenkin IAT tai International Airfield Technology nimillä.

IAT ilmoittaa kylttien vastaavan ICAO Annex 14:n vaatimuksia. IAT:n kyltti-mallin runko on alumiinia ja jauhemaalattu ilmailunkeltaiseksi. Etupaneelin materiaali on Lexan-polykarbonaattia. IAT lupaa kylttien toimivan täydellä valoteholla  $-40...+75^{\circ}\text{C}$  lämpötila-alueella. Kylttien jalat on valmistettu alumiinista ja ne ovat myös maalattu ilmailunkeltaisiksi. Taulukossa 3 on esitetty IAT:n tarjoaman kyltin keskeisiä ominaisuuksia. [25]

Taulukko 3: IAT:n kylttien ominaisuudet. [25]

	<b>SGN666a</b>	<b>SGN667b</b>
<i>Koko (<math>\text{mm}^2</math>)</i>	2600 x 600	1300 x 600
<i>Sähkönsyöttö</i>	4,6 - 6,6 A	4,6 - 6,6 A
<i>Valonlähde</i>	LED	LED
<i>Valonlähteen teho (W)</i>	-	-
<i>Kyltin teho (W)</i>	<65	<65
<i>Teho per pinta-ala (<math>\text{W}/\text{m}^2</math>)</i>	<41,7	<83,3
<i>IP-luokitus</i>	-	-
<i>Etupinnan tekstin korkeus (mm)</i>	400	400
<i>Muuntaja (W)</i>	45	45

International Airfield Technologyn materiaaleissa ei ole ilmoitettu valonlähteiden tai kyltin tehonkulutusta. IAT ilmoittaa vain maksimi tehonkulutuksen suurimmalle kylttikoolle ja muiden kylttien olevan pienempi tehoisia.

### 3.4 ADB

ADB:n valmistamien kylttien kotelo on tehty alumiinista. Etupaneelin materiaali on akryyliä. Etupaneelin tekstikalvon kuvio on erilainen kuin muissa kylteissä ja pinta on valoa heijastava. Kyltin laitteisto on ruostumatonta terästä. Helsinki-Vantaan lentoasemalle testiasennettu ADB:n kyltti on AGSF-L-mallinen, joka on suunniteltu ensisijaisesti FAA:n eli Yhdysvaltojen ilmailuhallinnon vaatimuksien mukaan, eikä ICAO Annex 14 -mukaisuutta mainita. ADB:n kylttimallista ei ole mainittu IP-luokitusta eikä valonlähteiden tehoa (taulukko 4). Kylttimallin luvataan toimivan  $-40...+55^{\circ}\text{C}$  lämpötilojen välillä. [26]

Taulukko 4: ADB:n kyltin ominaisuudet. [26]

	<b>SGN263+</b>
<i>Koko (mm<sup>2</sup>)</i>	3200 x 760
<i>Sähkönsyöttö</i>	4,8 - 6,6 A
<i>Valonlähde</i>	LED
<i>Valonlähteen teho (W)</i>	-
<i>Kyltin teho (VA)</i>	100
<i>Teho per pinta-ala (VA/m<sup>2</sup>)</i>	41,1
<i>IP-luokitus</i>	-
<i>Etupinnan tekstin korkeus (mm)</i>	460
<i>Muuntaja (W)</i>	150

### 3.5 Tammerneon ja TWOY

Helsinki-Vantaan lentoasemalla käytössä olevat halogeenikäyttöiset rullausopastekyltit on tilattu Tammerneon Oy:ltä vuonna 1998. Lähes parinkymmenen vuoden aikana kyltit on todettu toimiviksi ja kestäviksi sekä Helsinki-Vantaan lentoaseman että ICAO:n määräysten asettamiin vaatimuksiin.

Tammerneon on suunnitellut ja toteuttanut kylttien rakenteen sekä etupintatekstityksen ICAO Annex 14 mukaan. Runko muodostuu hitsatuista alumiiniprofileista ja ulkopinta on pulverimaalattu ilmailunkeltaiseksi. Kylttien etupaneelit on valmistettu 4 millimetrisistä akryyli- ja polykarbonaattilevyistä. Kyltin teksti on teipattu etupaneelin ulkopinnalle. Kyltin jalat on tehty alumiiniputkesta. Taulukkoon 5 on merkitty Tammerneonilta tilattujen kylttien tekniset tiedot. [27]

Taulukko 5: Tammerneon kylttien ominaisuudet. [28]

	<b>SGN438</b>	<b>SGN736</b>	<b>TWOY</b>
<i>Koko (mm<sup>2</sup>)</i>	1100 x 600	2000 x 600	1450 x 600
<i>Sähkönsyöttö</i>	3,3 - 6,6	3,3 - 6,6	3,3 - 6,6
<i>Valonlähde</i>	Halogeeni	Halogeeni	Halogeeni
<i>Valonlähteen teho (W)</i>	3x 45	6x 45	4x 45
<i>Kyltin teho (W)</i>	135	270	180
<i>Teho per pinta-ala (W/m<sup>2</sup>)</i>	204,5	225,0	206,9
<i>IP-luokitus</i>	IP54	IP54	IP54
<i>Etupinnan tekstin korkeus (mm)</i>	400	400	400
<i>Muuntaja (W)</i>	150	2x 150	1x 200

Tammerneon olisi luontaisesti valikoitunut mukaan myös uusien kylttien testia-

sennuksiin, mutta yritys ei valmista LED-valonlähteillä varustettuja rullausopastekylttejä.

Vanhanmallisia, mutta mekaanisesti hyväkuntoisia, halogeenikylttejä on asennettuna lentokenttäalueelle yli 450 kappaletta ja lisäksi niitä on kymmeniä varastoituna varaosiksi. Tämän takia Finavialla on haluttu tutkia mahdollisuutta hyödyntää vanhoja kylttirunkoja päivittämällä valonlähteet ledeiksi.

TWOY on modifioinut muutamia vanhoja Tammerneonin halogeenikylttejä vaihtamalla kylttien elektroniikan sekä valonlähteet. Käytännössä kyltin sisälle on lisätty ledien ohjauselektroniikka ja halogeenilamput on vaihdettu LED-tikuiksi, jotka on asennettu pystysuunnassa rinnakkain koko kyltin leveydelle.

### 3.6 Yhteenveto

Kaikkien testijaksoon kuuluvien rullausopastekylttien rakenteiden materiaalit ovat lähes identtisiä valmistajasta riippumatta. Kaikki valmistajat ovat päätyneet alumiiniseen koteloon. Alumiinin valintaa kylttikotelon ja -jalkojen materiaalina puoltaa sen keveys ja lujuus sekä kestävyys veden ja ilman vaikutuksille. Ainoa ero koteloiden välillä on, että Safegaten uudemmassa LED-kylttimallissa alumiini on anodisoitu, mikä parantaa materiaalin korroosiokestävyyttä ja elinikää. Kylttien pienet metalliset osat, kuten etupaneelien kiinnikkeet, on kaikissa kylteissä valmistettu ruostumattomasta teräksestä.

Taulukko 6: Tutkimuskohteena olevien rullausopastekylttien listaus.

	Valmistaja	Annex 14	Etupinta	P/A (W/m <sup>2</sup> )
<b>SGN439</b>	Safegate	Kyllä	PC	20,5
<b>SGN663b</b>	Safegate	Kyllä	PC	48,2
<b>SGN700a</b>	Safegate	Kyllä	PC	44,0
<b>SGN702a</b>	Safegate	Kyllä	PC	40,0
<b>SGN716</b>	Safegate	Kyllä	PC	88,9
<b>SGN669b</b>	All About Signs	Kyllä	PMMA	21,4
<b>SGN703b</b>	All About Signs	Kyllä	PMMA	25,0
<b>SGN666a</b>	IAT	Kyllä	Lexan (PC)	< 41,7
<b>SGN667b</b>	IAT	Kyllä	Lexan (PC)	< 83,3
<b>SGN263+</b>	ADB	Ei (FAA)	PMMA	41,1
<b>SGN438</b>	Tammerneon/TWOY	Kyllä	PMMA/PC	204,5
<b>TWOY</b>	Tammerneon/TWOY	Kyllä	PMMA/PC	206,9
<b>SGN736</b>	Tammerneon/TWOY	Kyllä	PMMA/PC	225,0

Jokainen kylttivalmistaja on päätenyt jauhemaalamaan rungot tilaajan toiveiden mukaisella värillä. Helsinki-Vantaan lentoasemalla kokemukset ovat osoittaneet jauhemaalauksen alkavan hilseilemään maalipinnan lähestyessä kymmentä vuotta. Kestävin vaihtoehto kylttikotelon pinnan värjäykselle olisi todennäköisesti alumiinin anodisoinnin yhteydessä tehtävä värjäys, jolloin väriaine kulkeutuu alumiinin



oksidikerrokseen. Valitettavasti tätä vaihtoehtoa ei tarjoa yksikään valituista kyltti-valmistajista.

Kylttien etupaneelien materiaalit ovat kaikissa kylteissä joko akryyliä (PMMA) tai polykarbonaattia (PC). Molempien muovien hyvinä ominaisuuksina pidetään niiden iskunkestävyyttä ja valonläpäisevyyttä. Akryyli kestää hyvin UV-valoa, mutta naarmuuntuu helposti. Naarmuuntumisen kestoa voidaan parantaa erilaisilla pinnoitteilla. Polykarbonaattilevyt ei naarmuunnu ja hankauskestävyys on lasin tasolla. Polykarbonaatilla on huono liuottimien kestävyys ja vaatii stabiloinnin kestääkseen UV-säteilyä. Helsinki-Vantaan lentoasemalla ei ole havaittu merkittäviä ongelmia kummankaan polymeerin kanssa. [29]

ADB:n kylttiä lukuun ottamatta kaikki muut valmistajat lupaavat kylttien olevan Annex 14 -vaatimusten mukaisia. FAA:n vaatimukset perustuvat ICAO:n Annex 14, mutta vaatimuksissa on joitakin eroja. Esimerkiksi ICAO:n ja FAA:n vaatimat rullausopastekylttien etupinnan kuvat eroavat toisistaan.

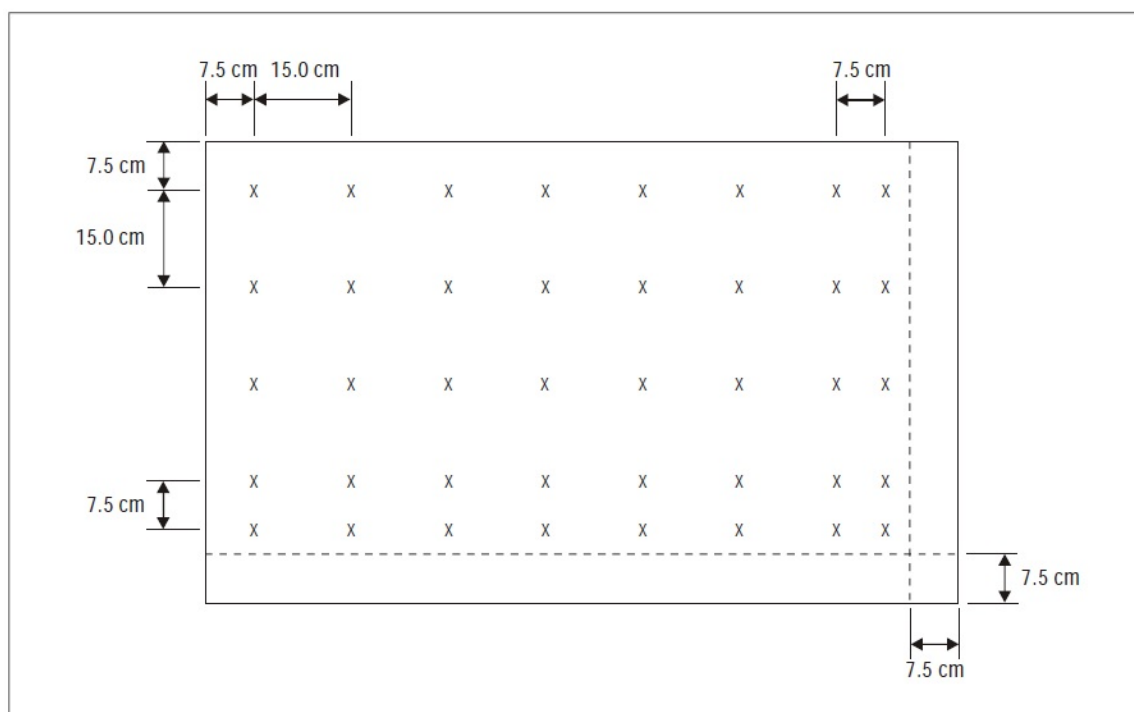
Valmistajien ilmoittamien tietojen perusteella All About Signsin kylteillä ja Safegaten uudemmalla LED-kyltillä olisi noin puolet pienempi tehonkulutus pinta-alaa kohti kuin seuraavaksi parhailla kylttimalleilla. Tammerneonin vanhat halogeenilamput ovat selvästi heikoimmat tehonkulutukseltaan. TWOY ei ole ilmoittanut LED-valonlähteidensä tehoa.

Kaikki testikylttien valmistajat ovat ilmoittaneet hieman eri tietoja kylteistään, mikä omalta osaltaan vaikeuttaa kylttien keskinäistä vertailua pelkkien lähdemateriaalien perusteella. Taulukkoon 6 on merkitty tiivis yhteenveto kylteistä. Valmistajilta saatujen tietojen pohjalta on mahdotonta tehdä päätöstä parhaasta kylttivaihtoehdosta, mutta kaksi vaihtoehtoa vaikuttavat muita lupaavammilta: Safegaten uudempi LED-malli ja All About Signs -kyltit.

## 4 Mittausmenetelmät

Epätasaisesti valaistu kyltti on vaikealukuinen, eikä sovellu käytettäväksi lentokenttäalueella. Värikoordinaatti- ja luminanssimittauksen tarkoituksena on varmistaa kyltin täyttävän sille asetetut korkeat vaatimukset, joita visuaalisilta opastelaitteilta vaaditaan lentokenttäalueella. Annex 14:n liite 4 määrittelee kylttien fyysisiä sekä luminanssiin liittyviä vaatimuksia ja liite 1 värien vaatimuksia, jotka kaikki tulee huomioida evaluoinnissa.

Väri- ja luminanssimittausta varten kyltin etupintaan tulee merkitä mittausruudukko, jonka pisteistä tehdään värikoordinaatti- ja luminanssimittaukset. Ruudukon pisteiden merkkäminen aloitetaan kyltin etupinnan vasemmasta yläreunasta, josta edetään vaakatasossa oikeaa reunaa kohti rivi kerrallaan. Ruudukon tarkoituksena on tuottaa mahdollisimman todenmukainen tulos pinnan luminanssista ja väreistä. Annex 14:n määräämä mittaruudukko on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7: Luminanssi- ja värikoordinaattimittauksen pisteet kyltin etupinnasta Annex 14:n mukaan. [9, liite 4]

Mitattujen pisteiden perusteella lasketaan jokaiselle värille keskimääräinen luminanssiarvo ja verrataan arvoja Annex 14 liite 4:n määräämiin minimiarvoihin. Kyltin pinnan tasaisuus tulee tarkistaa laskemalla luminanssien maksimi- ja minimiarvojen suhde jokaiselle värille ja verrata niitä vaatimuksiin. Lisäksi määräävien kylttien punaisen ja valkoisen värin minimi- ja maksimiluminanssien suhde tulee olla Annex 14 mukainen. Kyltin jokaiselle värille lasketaan keskimääräiset värikoordinaatit ja vahvistetaan, että ne ovat määrättyjen värirajojen sisäpuolella. Kylttien näkyvyyteen liittyvät vaatimukset kerrotaan tarkemmin luvussa 2.5.3.

Luminanssien ja värikoordinaattien lisäksi opastekylteistä mitataan myös niiden sähköisiä ominaisuuksia, vaikka lentokenttävalaistuksen määräykset ja asetukset eivät ota kantaa valaisimien tai kylttien sähköisiin suureisiin. Virta-, jännite- ja tehomittauksilla pyritään varmistamaan uusien kylttien sopivuus käyttöympäristöön ja seurataan samalla, että vakiovirtasäätimien lähtöteho riittää syöttämään kaikkia kyseisen sarjapiirin valaisimia ja kylttejä. Pätö- ja näennäistehoa mittaamalla voidaan selvittää kuinka paljon LED-kyltit vaikuttavat sähkönkulutukseen ja kuinka paljon loistehon kulutus muuttuu. Loisteho on ollut merkityksettömän pieni lentokenttävalaistuksessa, kun käytössä on ollut halogeenivalaisimia ja -kylttejä. Siirryttäessä käyttämään ledejä on mahdollista, että loistehon kulutusta joudutaan huomioimaan, minkä takia asiaan kiinnitetään huomiota tutkimuksessa.

Virta- ja jännitemittauksia varten on tehty lyhyt - noin 30 *cm* pituinen - toisiokaapeli, jossa on eroteltu vaihe- ja nollajohdin toisistaan virran mittaamiseksi, sekä kummastakin johtimesta on kuorittu esiin noin 2 *cm* kuparijohdinta jännitteen mittaamiseksi. Mittauskaapeli kytketään mitattavan kyltin ja erotusmuuntajalta tulevan toisiokaapelin väliin mittausten ajaksi.

## 4.1 Mittalaitteet

Minolta Chroma meter CS-100 on kannettava, käsikäyttöinen luminanssi- ja värimittari. Mittalaite on tarkoitettu pistemittauksiin. Tässä diplomityössä Chroma meterilla on mitattu kylttien etupinnan x- ja y-värikoordinaatit sekä luminanssiarvot. Mittalaite on kalibroitu 10.1.1996 Minolta kalibroitipalvelun kautta.

Dranetz PowerXplorer PX5 on kannettava sähkönlaadun analysaattori. PX5:ssä on värillinen kosketusnäyttö ja kahdeksan mittauskanavaa, joista puolet on virran mittaamiseen ja toiset neljä ovat jännitemittauksiin. Laite osaa laskea mittaamiensa virtojen ja jännitteiden perusteella muun muassa pätö- ja loistehon, sekä signaalin harmoniset moninkerrat. Opaskylttimittauksissa Dranetzilla mitataan kylttien virtaa ja jännitettä, sekä pätö- ja näennäistehoa. Mittalaite on viimeksi kalibroitu 18.3.2015 SGS Fimko Oy:n toimesta.

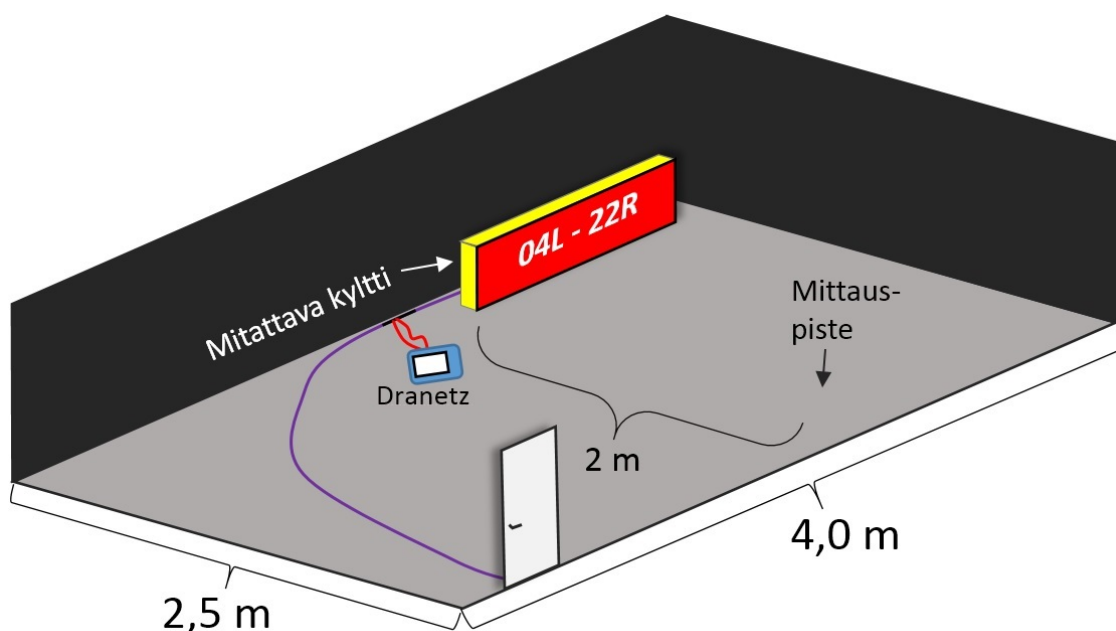
## 4.2 Sisätilamittaus

Sisätilamittaukset tehdään Helsinki-Vantaan lentoaseman ilmailusähkön (HK-LAIS) pimeässä mittaushuoneessa. Mittaustila on 4 *m* leveä ja 2,5 *m* pitkä ikkunaton huone, jonka seinät on maalattu mattamustalla maalilla. Sähkönsyöttö tulee viereisen huoneen IDM8000 3 *kVA* vakiovirtasäätimeltä. Mitattava kyltti kytketään vakiovirtasäätimeen erotusmuuntajan välityksellä. Lisäkuormaksi kytketään kyltin kanssa sarjaan Idmanin 200 *W* uppovalaisin ja sen erotusmuuntaja. Sisätilassa mittaukset suoritetaan kaikilta viideltä virtaportaalta kahden metrin etäisyydeltä kyltin etureunasta. Kuvassa 8 on havainnollistettu sisätilamittauksen järjestely yläviistosta katsottuna.

Sisätilamittauksen vaiheet ovat:

1. Kytketään erotusmuuntajat vakiovirtasäätimeen, uppovalaisin ja kyltti erotusmuuntajiin, sekä mittauskaapeli paikalleen.

2. Kiinnitetään Dranetzin virtamittapihti ja jännitemittapäät mittauskaapeliin.
3. Käynnistetään säädin ja tarkistetaan säätimestä, että kaikki virtaportaat on asetettu oikeille tasoille.
4. Aloitetaan mittaukset alimmalta virtaportaalta.
5. Kohdistetaan luminanssimittari ensimmäiseen merkittyyn mittauspisteeseen kyltin vasemmassa yläreunassa siten, että etsinympyrä on kokonaan mitattavan värin alueella ja painetaan mittalaitteen liipaisimesta.
6. Kirjataan luminanssimittarin näytöltä luminanssi- sekä värikoordinaattiarvot mittauspöytäkirjaan.
7. Toistetaan edelliset kohdat 5 ja 6 seuraavien mittauspisteiden kohdalla, kunnes kaikki kyltin mittauspisteet on mitattu.
8. Luetaan sähkönlaatuanalysaattorin näytöltä virta-, jännite- ja teholumemat, sekä kirjataan ne mittauspöytäkirjaan.
9. Nostetaan säätimen syöttämä virta seuraavalle portaalle ja toistetaan edellä mainitut kohdat 5-8.
10. Kun kaikki mittauspisteet on mitattu kaikilla virtaportailla, vakiovirtasäädin voidaan sammuttaa ja mitataan kyltin etupinnan kirjaisimien leveydet sekä viivanleveydet viivoitinta tai mittanauhaa käyttäen. Merkitään lukemat mittauspöytäkirjaan.
11. Lopuksi voidaan poistaa mittauskytkennät.



Kuva 8: Havainnekuva sisätilamittauksesta

### 4.3 Ulkotilamittaus

Ulkotilamittaukset suoritetaan pimeään vuoden- ja vuorokaudenaikaan mittauksen ulkopuolisen valomäärän minimoimiseksi. Mittaukset tehdään kylttien sijaintipaikoilla eli eri puolilla Helsinki-Vantaan lentoasemaa. Sähkönsyöttö ja sarjapiirin kuorma hieman vaihtelevat kylttien välillä, koska mitattavat kyltit on sijoitettu lentoaseman eri osille ja ovat siten osana eri sarjapiirejä. Mitattavien kylttien kanssa samassa sarjapiirissä on rullausteiden reunavaloja ja muita kylttejä.

Ulkomittaukset suoritetaan kummallakin käytössä olevalla virtaportaalla - eli täydellä 100 % ja 30 % valoteholla. 808-lentokonepaikan koordinaattikyltti on poikkeus; se toimii verkkojännitteellä (230 V AC) ja on sijoitettuna valaisinmastoon noin neljän metrin korkeuteen.

Alla olevassa kuvassa 9 ollaan mittaamassa kyltin luminanssi- ja värikoordinaattiarvoja Chroma meter CS-100 -mittalaitteella sekä kyltin sähköisiä ominaisuuksia maassa näkyvällä Dranetz PowerXplorer PX5:llä.



Kuva 9: Ulkomittaustilanne yöllä.

### 4.4 Erot Annex 14:n ja toteutettujen mittausten välillä

Annex 14:n kehottama mittauspisteiden lukumäärä kyltin etupinnassa on koettu Finaviolla tarpeettoman suureksi. Esimerkiksi kuvassa 7 oleva kyltti on kooltaan 1125 mm x 675 mm, mikä on todella pieni lentokenttävalaistukseen. Pienestä koosta huolimatta Annexin mukaan kyseisessä kyltissä tulisi olla 40 kappaletta mittauspisteitä.

Finaviolla käytäntönä on mitata noin neljänneksen kokoinen alue kyltin etupinnan vasemmasta yläreunasta. Finavian käytäntöjen mukaisissa mittauksissa on 7-27 mittauspistettä yhden kyltin etupintaa kohden.

## 5 Mittaustulokset

Rullausopastekylttien ulkomittaukset suoritettiin 8.-9.9.2015 kello 20:00-05:00 välisenä aikana. Mittausten aikana sää oli kirkas ja taivas oli pimeä. Kyltin SGN-Z10 mittaus suoritettiin sisällä Helsinki-Vantaan lentoaseman ilmailusähköön mittaushuoneessa. Sisämittaus suoritettiin 8.9.2015 kello 13:00-15:00 välisenä aikana.

### 5.1 Virta-, jännite- ja tehomittausten tulokset

Rullausopastekylttien virta-, jännite- ja tehoarvot mitattiin Dranetz PowerXplorer PX5 -mittalaitteella. Erikokoisten rullausopastekylttien pätö- ja näennäistehojen vertaaminen suoraan keskenään voi johtaa harhaan, koska suuremman kyltin valaiseminen vaatii enemmän valonlähteitä kuin pienikokoisemman kyltin ja siten kuluttaa enemmän tehoa. Erikokoisten kylttien vertailun helpottamiseksi taulukkoon 7 on laskettu jokaiselle kyltille teho per neliö, toisin sanoen kuinka paljon pätötehoa kuluu suhteessa etupinnan pinta-alaan. Tämän lisäksi kaikille kylteille on laskettu pätötehon ja näennäistehon suhde eli tehokerroin. Mainittavan hyviä lukuarvoja on taulukossa korostettu vihreällä ja huonoja arvoja punaisella värillä.

Taulukkoon 7 merkityissä rullausopastekylttien virtamittausten tuloksissa huomiota herättävät molemmat IAT:n valmistamat kyltit SGN666a ja SGN667b. Näitä kahta kylttiä lukuun ottamatta kaikilla muilla kylteillä mitatut virta-arvot vastasivat vakiovirtasäädinten virtaportaiden arvoja. IAT:n kylteissä oleva ledien ohjauselektronikka todennäköisesti rajoittaa virtaa, mikä saattaa vaikuttaa koko sarjapiirin toimintaan.

Safegaten slim-mallinen kyltti SGN439 ja All About Signsin molemmat kyltit SGN669b sekä SGN703b kuluttavat vähiten sähkötehoa pinta-alaa kohti. Halogeenikylttien tehonkulutus on noin 200 wattia per neliömetri, kuten taulukosta 5 käy ilmi, jolloin alle  $20 \text{ W/m}^2$  on merkittävästi vähemmän. Kaikki mitatut LED-rullausopastekyltit kuluttavat vähemmän sähköenergiaa kuin Helsinki-Vantaan lentoaseman vanhat halogeenipohjaiset kyltit.

Tehokertoimen osalta Safegaten kyltti SGN439 on selvästi paras kaikista testisarjan mitatuista LED-kylteistä. Safegate ilmoittaa slim-kyltin tuotekuvauksessa [22, s.5] tehokertoimen olevan tyypillisesti yli 0.99, mikä pitää paikkaansa tämän mittauksen perusteella. Safegate on onnistunut tämän kylttimallin elektroniikka-suunnittelussa ja saanut sen näkymään lähes täysin resistiivisenä kuormana, jolloin loistehoa ei kulu käytännössä ollenkaan. All About Signsin SGN703b ja TWOY:n kylttien tehokerroin on yli 0.80, mitä voidaan pitää hyvänä tuloksena. Sen sijaan Safegaten vanhempaa led-kylttimallia olevien SGN663b ja SGN700a sekä IAT:n SGN666a tehonkulutuksesta 45-47 % on loistehoa. IAT:n SGN667b on testisarjan huonoin kyltti tehokertoimen perusteella ja sen kuluttamasta näennäistehosta 52-69 %:ia on loistehoa.

Taulukko 7: Kylttien virtojen, jänniteiden ja tehojen mitatut arvot kaikilla mitatuilla virtaportilla alkaen korkeimmasta. Tehojen perusteella kylteille on laskettu teho per pinta-ala ja tehokerroin.

Kyltti	I (A)	U (V)	P (W)	S (VA)	P/A (W/m <sup>2</sup> )	cosφ
SGN263+	6,66	13,9	70,6	92,4	29,0	0,76
	6,35	14,7	70,5	93,8	29,0	0,75
SGN439	6,65	6,3	41,8	42,0	19,9	1,00
	6,11	6,8	40,9	41,1	19,5	1,00
SGN663b	6,58	19,5	68,3	128,1	61,0	0,53
	6,28	19,8	66,5	124,3	59,4	0,53
SGN666a	4,53	20,3	49,5	90,6	31,7	0,55
	3,40	19,4	46,2	65,4	29,6	0,71
SGN667b	5,50	20,5	35,9	114,2	46,0	0,31
	3,00	20,1	28,3	59,5	36,3	0,48
SGN669b	6,60	5,3	27,5	34,9	19,6	0,79
	6,29	5,2	25,3	32,6	18,1	0,77
SGN700a	6,64	24,6	90,6	163,4	51,8	0,55
	6,33	28,9	96,0	181,9	54,9	0,53
SGN702a	6,52	25,5	103,0	169,5	38,1	0,61
	6,08	25,0	92,5	147,1	34,3	0,63
SGN703b	6,58	5,3	28,3	34,8	15,7	0,81
	6,28	5,2	25,9	32,9	14,4	0,79
SGN716	ei mitattu	ei mitattu	ei mitattu	ei mitattu	ei laskettu	ei laskettu
SGN736	6,57	8,2	45,2	54,1	37,7	0,84
	6,27	8,1	41,5	50,7	34,6	0,82
TWOY	6,50	7,6	43,1	49,4	65,3	0,87
	6,22	7,1	37,4	43,9	56,7	0,85
SGN438	6,56	8,6	48,2	56,6	73,0	0,85
	6,05	8,3	41,2	50,4	62,4	0,82
SGN-Z10	6,59	6,8	32,0	45,1	36,8	0,71
	6,24	6,5	29,3	40,5	33,7	0,72
	4,61	5,4	18,6	24,7	21,4	0,75
	3,80	4,7	14,0	17,9	16,1	0,78
	3,30	4,3	11,4	14,0	13,1	0,81

## 5.2 Luminanssi- ja värikoordinaattimittausten tulokset

Luminanssi- ja värikoordinaattimittaukset suoritettiin Finavian Konica Minolta CS-100 -mittalaitteella. Tässä luvussa esitetään jokaisen mitatun rullausopastekyltin tulokset. Kaikista kylteistä on koostettu taulukko, johon on merkitty värikoordinaattien ja luminanssiarvojen minimi-, maksimi- ja keskiarvot kaikilla mitatuilla virtaportilla. Lisäksi jokaisen kylttivalmistajan kylttikohtaiset värikoordinaatit esitetään omissa CIE:n x,y-kromaattisuusdiagrammeissa.

Liitteet B-O ovat kaikkien mitattujen rullausopastekylttien mittauspöytäkirjat, joista löytyy kylttikohtaisesti yksittäisten mittauspisteiden luminanssi- ja värikoordinaattiarvot, sekä niistä lasketut jokaisen värin erilliset minimi-, keski- ja maksimi-arvot.

Rullausopastekylttien keskimääräisten luminanssiarvojen vähimmäisvaatimukset ovat punaiselle  $30 \text{ cd/m}^2$ , keltaiselle  $150 \text{ cd/m}^2$  ja valkoiselle  $300 \text{ cd/m}^2$ . Tarkemmin kylttien näkyvyysvaatimuksista käsitellään luvussa 2.5.3.

### 5.2.1 Safegate

Safegaten uudenmallinen LED-kyltti täyttää ICAO:n Annex 14 -näkyvyysvaatimukset. Kyltin etupinnassa olevan keltaisen värin keskimääräinen luminanssi on yli  $150 \text{ cd/m}^2$  ja värikoordinaatit ovat Annex 14 -mukaiset, kuten taulukosta 8 ja kuvasta 10 käy ilmi. SGN439-kyltin maksimi- ja minimiluminanssien suhde on noin 1.5:1 sekä vierekkäisten samanväristen mittauspisteiden välinen kontrastiero on alle 1.4:1. Annex 14:n määräys kyseisille lukuarvoille on maksimissaan 5:1 ja 1.5:1 vastaavassa järjestyksessä, joten vaatimukset täyttyvät selkeästi. Liitteeseen B on merkitty kaikkien mittauspisteiden luminanssi- ja värikoordinaattiarvot.

Taulukko 8: Kyltin SGN439 mittaustulokset

$\leftarrow \text{G}$	<b>W</b>	$\text{WG} \rightarrow$	<b>Keltainen</b>		
			min	ka	max
30 %	<b>L</b>	$(\text{cd/m}^2)$	139	171	198
	<b>x</b>		0,482	0,485	0,489
	<b>y</b>		0,490	0,495	0,498
	<b>L</b>	$(\text{cd/m}^2)$	138	173	201
100 %	<b>x</b>		0,482	0,484	0,486
	<b>y</b>		0,495	0,496	0,497

Kyltti SGN663b on Safegaten vanhempaa LED-mallia. Keskimääräinen luminanssi on täydellä teholla  $48 \text{ cd/m}^2$  yli vaatimuksen. Värikoordinaatit noudattavat määräyksiä. Taulukkoon 9 on merkitty SGN663b:n luminanssi- ja värikoordinaattiarvot. Värikoordinaatit on merkitty myös kromaattisuusdiagrammiin - kuva 10. Kirkkaimman ja himmeimmän mittauspisteen välinen suhde on 1.8:1 sekä saman väristen pisteiden kontrastierojen suhteet ovat alle 1.2:1. Liitteessä C on kyltin SGN663b mittauspöytäkirja.

SGN700a-rullausopastekyltin keskimääräinen luminanssiarvo korkeimmalla virtaportaalla on  $2 \text{ cd/m}^2$  ja 30 %:n virtaportaalla  $8 \text{ cd/m}^2$  vähemmän kuin ICAO Annex 14:n vaatimus. Toisaalta Konica Minoltan verkkosivuilla ilmoitetaan [30] luminanssimittarin epätarkkuudeksi  $\pm 2 \%$  eli noin  $3 \text{ cd/m}^2$  edellä mainituilla luminanssiarvoilla. Kyltin värikoordinaatit ja mittauspisteiden väliset kontrastierot täyttävät kylteille asetetut vaatimukset. Taulukossa 10 on esitetty SGN700a-kyltin luminanssi- ja värikoordinaattiarvojen minimi, keskiarvot ja maksimit kummallakin virtaportaalla. Kuvaan 10 on merkitty kyltin keltaisen värin keskimääräiset x- ja y-värikoordinaatit. SGN700a:n mittauspöytäkirja on liitteenä D.



Taulukko 9: Kyltin SGN663b mittaustulokset

<b>VR →</b>		<b>Keltainen</b>		
		min	ka	max
30 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	137	197	244
	<b>x</b>	0,471	0,472	0,474
	<b>y</b>	0,504	0,504	0,504
100 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	137	198	248
	<b>x</b>	0,471	0,472	0,474
	<b>y</b>	0,503	0,504	0,504

Taulukko 10: Kyltin SGN700a mittaustulokset

<b>← VM</b>	<b>AV</b>	<b>Keltainen</b>		
		min	ka	max
30 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	100	142	176
	<b>x</b>	0,458	0,461	0,463
	<b>y</b>	0,499	0,500	0,500
100 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	102	148	182
	<b>x</b>	0,458	0,461	0,464
	<b>y</b>	0,499	0,500	0,500

SGN702a kuuluu määrääviin kyltteihin. Punaisen värin keskimääräinen luminanssi tulee olla vähintään  $30\text{ cd/m}^2$  ja valkoisen värin vähintään  $300\text{ cd/m}^2$ . SGN702a ylittää valkoiselle määritetyn vaatimuksen, mutta punaisen pinnan luminanssi ei ole riittävän kirkas, kuten taulukkoon 11 on merkitty. Valkoisen ja punaisen luminanssien suhde on 14.8:1, kun Annex 14:n määräys on 5:1 ja 10:1 välillä. Värikoordinaattimittausten ja kuvan 10 perusteella kyltin punainen väri ei ole ICAO Annex 14:n suositusten mukainen. SGN702a:n tarkemmat mittaustulokset löytyvät mittauspöytäkirjasta liitteessä E.

Taulukko 11: Kyltin SGN702a mittaustulokset

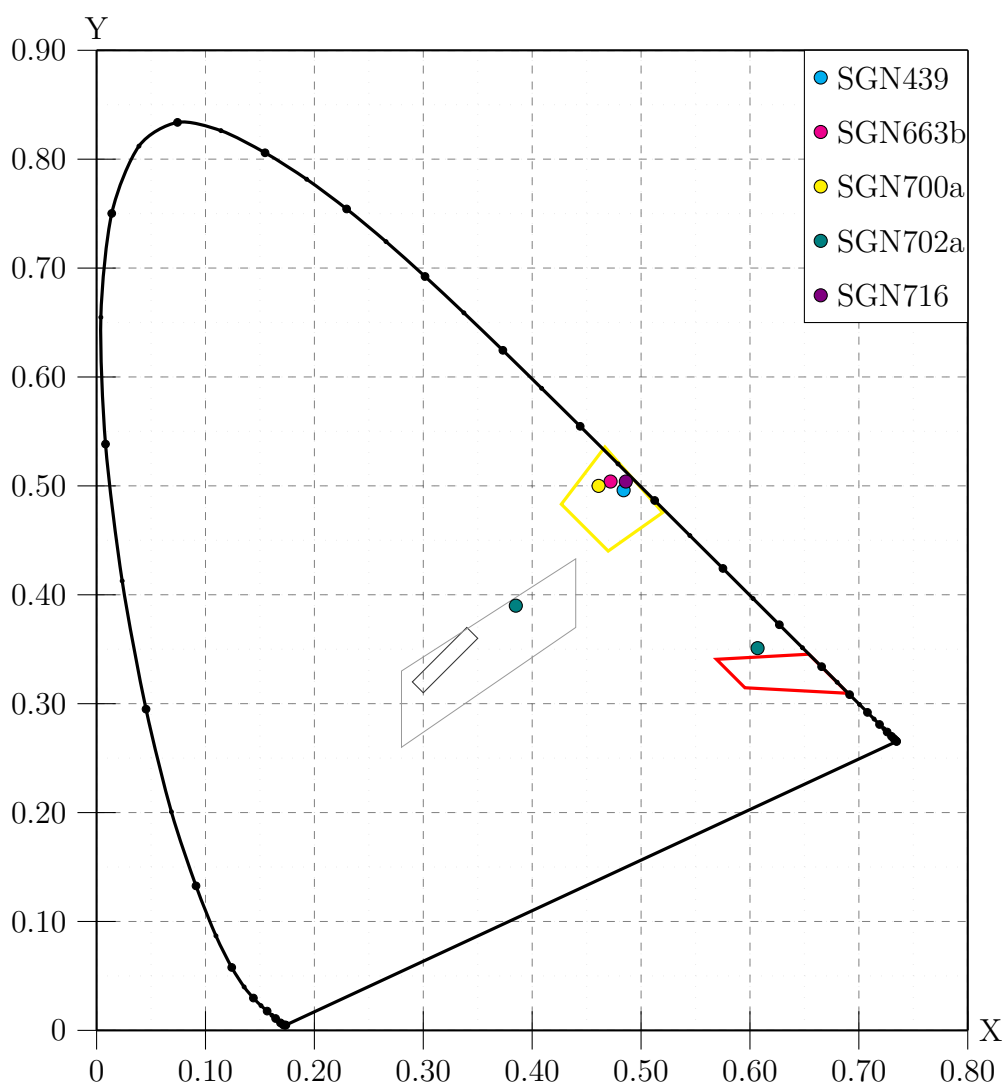
<b>04L-22R</b>		<b>Punainen</b>			<b>Valkoinen</b>		
		min	ka	max	min	ka	max
30 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	16	22	30	265	326	392
	<b>x</b>	0,607	0,609	0,612	0,381	0,384	0,386
	<b>y</b>	0,350	0,351	0,352	0,389	0,391	0,393
100 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	17	23	32	274	341	418
	<b>x</b>	0,607	0,607	0,611	0,381	0,385	0,387
	<b>y</b>	0,350	0,351	0,352	0,388	0,390	0,392

Kyltti SGN716 eroaa muista mitatuista kylteistä sähkönsyötön, valonlähteiden ja sijoituksen osalta. SGN716 on noin neljän metrin korkeuteen, valaisinmaston runkoon, kiinnitetty ja loisteputkilampuilla valaistu kyltti. Etupinnan luminanssi on 2,4-kertainen vaadittuun arvoon verrattuna. Kirkkaimman ja himmeimmän kohdan

välinen kontrastiero on 3.6:1, mikä on Annex 14:n vaatimusten mukainen. Taulukkoon 12 ja kuvaan 10 on merkitty kyltin mittaustulokset. Liitteeseen F merkittyjen mittauspisteiden 9 ja 10 välinen suhde on 2:1, kun vaatimuksen maksimi on 1.5:1.

Taulukko 12: Kyltin SGN716 mittaustulokset

808-KOORD		Keltainen		
		min	ka	max
230 VAC	L ( $cd/m^2$ )	167	359	600
	x	0,478	0,486	0,490
	y	0,501	0,504	0,509



Kuva 10: Safegate-kylttien keskimääräiset värikoordinaatit CIE x,y-kromaattisuusdiagrammissa

### 5.2.2 All About Signs

All About Signs:n SGN669b-kyltti noudattaa molemmilla virtaportilla suoritettujen mittausten perusteella kaikilta osin ICAO Annex 14:n näkyvyysvaatimuksia. Etupinnan maksimi- ja minimiluminanssin suhde on 1.4:1, joten kyltti täyttää valon tasaisuudella määritetyt vaatimukset. Luminanssi- ja värikoordinaattiarvot ovat merkitty taulukkoon 13, kuvaan 11 ja liitteeseen G.

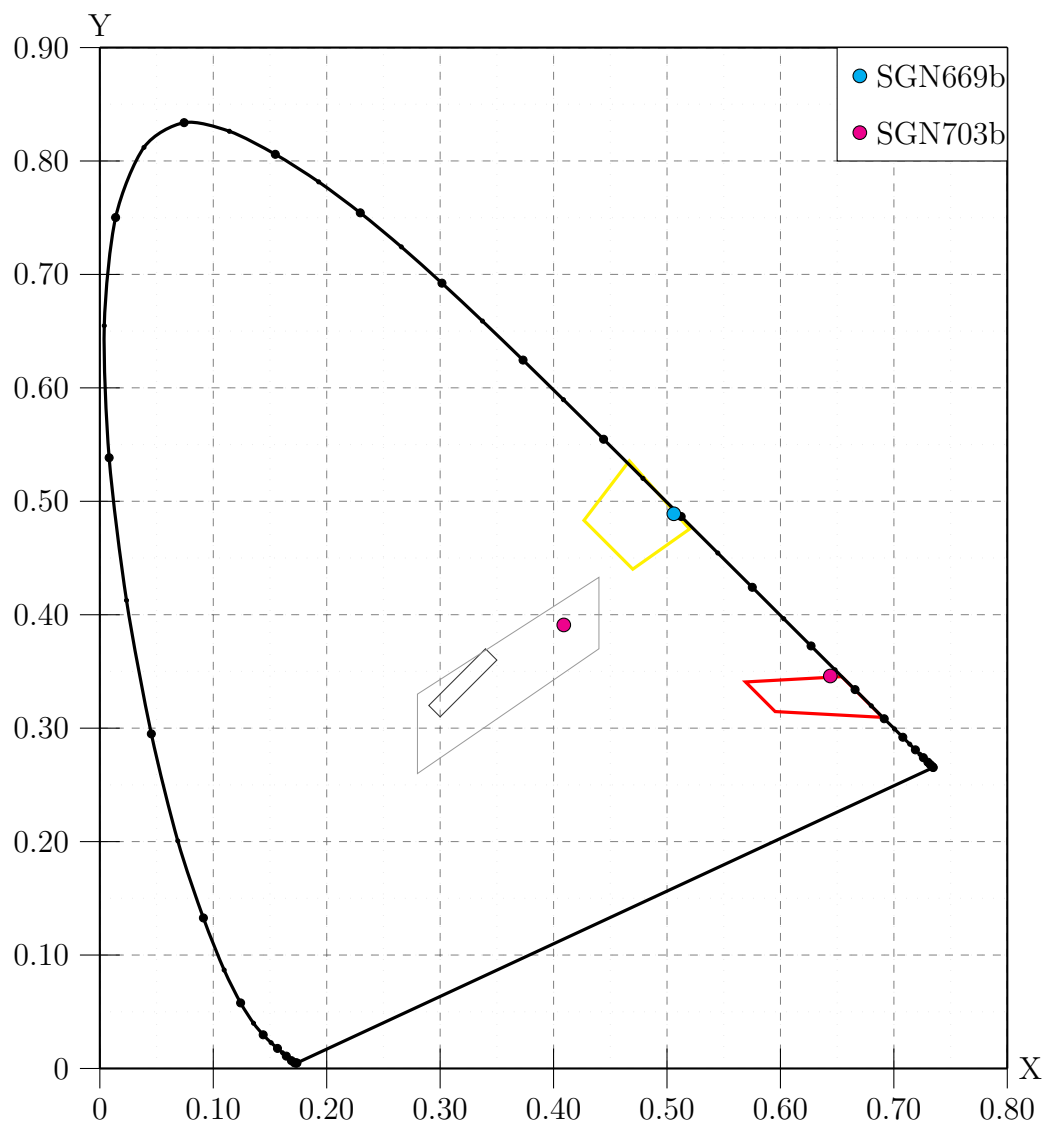
Taulukko 13: Kyltin SGN669b mittaustulokset

VR →		Keltainen		
		min	ka	max
30 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	142	175	206
	<b>x</b>	0,505	0,507	0,507
	<b>y</b>	0,488	0,489	0,490
100 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	155	188	217
	<b>x</b>	0,505	0,506	0,507
	<b>y</b>	0,488	0,489	0,490

Taulukon 14 mittaustulosten perusteella rullausopastekyltti SGN703b:n punaisen pinnan keskimääräinen luminanssi ylittää vaatimukset, mutta valkoinen tekstiosa ei ole kirkkaudeltaan riittävä - ei edes kirkkaimmista mittauspisteistä. Lisäksi etupinnan punaisella alueella on peräkkäisten mittauspisteiden kirkkaudessa liian suuria eroja; 6,6 A:n virtaportaalla mittauspisteiden viisi ja kuusi luminanssien suhde on 1.8:1. Annex 14:n vaatimus on maksimissaan 1.5:1. Valkoisen ja punaisen värin luminanssien suhde on 4.7:1, kun Annex 14 vaatii vähintään 5:1. Kuten kuvasta 11 voidaan havaita, SGN703b täyttää värikoordinaattien osalta vaatimukset. Liitteessä H on kaikki kyltin SGN703b mittauspisteiden luminanssi- ja värikoordinaattiarvot.

Taulukko 14: Kyltin SGN703b mittaustulokset

CAT II		Punainen			Valkoinen		
		min	ka	max	min	ka	max
30 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	35	49	73	205	228	249
	<b>x</b>	0,617	0,643	0,647	0,408	0,409	0,411
	<b>y</b>	0,345	0,347	0,355	0,391	0,392	0,393
100 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	38	53	80	230	253	276
	<b>x</b>	0,638	0,644	0,646	0,407	0,409	0,410
	<b>y</b>	0,345	0,346	0,348	0,391	0,391	0,392



Kuva 11: All About Signs -kylttien keskimääräiset värikoordinaatit CIE x,y-kromaattisuusdiagrammissa

### 5.2.3 International Airfield Technology

International Airfield Technology:n SGN666a-kyltin etupinta koostuu keltaisella taustalla olevasta suuntaosasta ja mustalla taustalla olevasta sijaintiosasta. Mittaus- tulosten perusteella kyltin luminanssiarvot ylittävät asetetut vaatimukset kirkkaasti. Kyltin etupinnan kirkkaus on myös vaaditun tasainen, kun maksimi- ja minimiluminanssin suhde on 1.5:1, joka voidaan laskea taulukon 15 tuloksista. Tästä seuraa, että kaikkien vierekkäisten mittauspisteiden väliset luminanssisuhteet on oltava vaatimusten mukaisia. Kuvasta 12 voidaan todeta kyltin keltaisten värikoordinaattien osuvan asetettujen suositusrajojen sisäpuolella. Kyltin mittauspöytäkirja on liitteenä I.

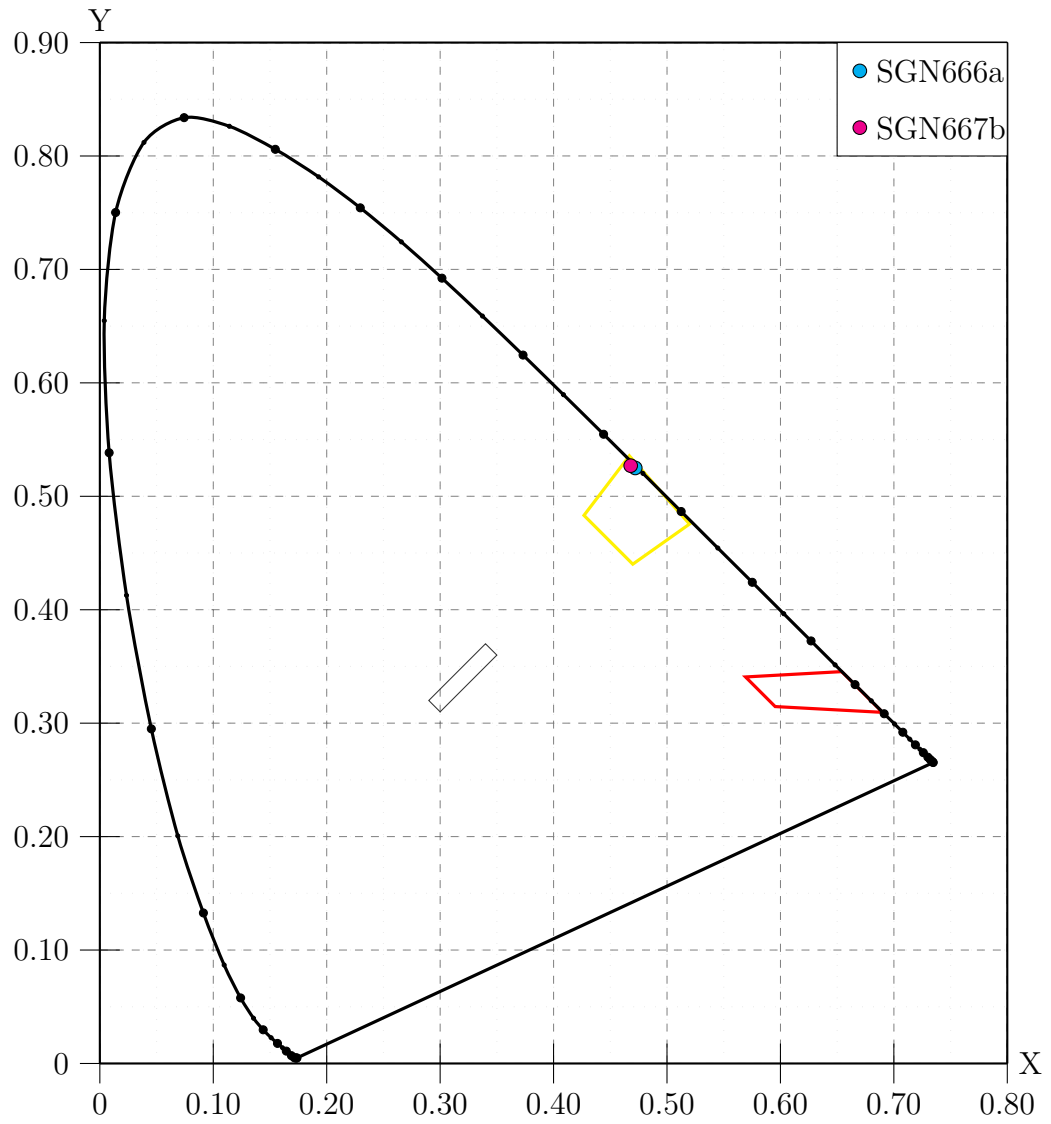
Taulukko 15: Kyltin SGN666a mittaustulokset

← AS	AV1	Keltainen		
		min	ka	max
30 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	216	275	326
	<b>x</b>	0,469	0,470	0,473
	<b>y</b>	0,523	0,525	0,526
100 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	218	273	321
	<b>x</b>	0,468	0,472	0,496
	<b>y</b>	0,523	0,525	0,527

IAT:n toisen kyltin, SGN667b:n, mittaustulokset vastaavat hyvin edellisen kyltin tuloksia; keskimääräinen luminanssi on  $260\text{ cd/m}^2$ , kun minimivaatimus keltaisen värin keskimääräiseksi luminanssiksi on  $150\text{ cd/m}^2$ . Maksimi- ja minimiluminanssien suhde on 1.5:1, joten etupinnan kirkkauden tasaisuus täyttää ICAO Annex 14:n vaatimukset. SGN667b-kytlin värikoordinaatit ovat lähes identtiset SGN666a:n kanssa ja suositusten mukaiset, kuten taulukosta 16, kuvasta 12 ja liitteestä J käy ilmi.

Taulukko 16: Kyltin SGN667b mittaustulokset

AV →		Keltainen		
		min	ka	max
30 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	205	260	308
	<b>x</b>	0,467	0,468	0,469
	<b>y</b>	0,526	0,527	0,528
100 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	201	260	308
	<b>x</b>	0,467	0,468	0,469
	<b>y</b>	0,526	0,527	0,528



Kuva 12: International Airfield Technology -kylttien keskimääräiset värikoordinaatit CIE x,y-kromaattisuusdiagrammissa

### 5.2.4 ADB

ADB:ltä tilatun määräävän rullausopastekyltin etupinta muodostuu sijaintitietoa kuvaavasta osasta ja kiitotietunnuksesta, joten etupinnasta mitataan punaisen, valkoisen sekä keltaisen luminanssi- ja värikoordinaattiarvot.

Taulukko 17: Kyltin SGN263+ mittau tulokset

CN	33-15	Punainen			Valkoinen			Keltainen		
		min	ka	max	min	ka	max	min	ka	max
30 %	L ( $cd/m^2$ )	7	10	13	86	118	142	43	66	105
	x	0,663	0,664	0,665	0,364	0,369	0,373	0,469	0,482	0,489
	y	0,326	0,327	0,328	0,390	0,398	0,407	0,495	0,501	0,512
100 %	L ( $cd/m^2$ )	6	10	13	86	116	142	62	66	104
	x	0,662	0,664	0,666	0,363	0,370	0,376	0,468	0,479	0,485
	y	0,327	0,328	0,328	0,390	0,397	0,406	0,499	0,504	0,514

Sekä 100 %:n että 30 %:n virtaportaalla suoritettujen mittausten perusteella kyltin kaikki luminanssiarvot jäävät alle Annex 14 -määräysten vaatimista lukemista - edes kirkkaimmat mittauspisteet eivät täytä keskimääräisen luminanssitason vaatimuksia, kuten taulukkoon 17 on merkitty. Punainen väri täyttää vain 33 %, valkoinen 39 % ja keltainen 44 % määrätystä keskimääräisestä luminanssitasosta. Valkoisen ja punaisen värin luminanssien suhde on noin 12:1 eli se ylittää sallitun lukeman, jonka yläraja on 10:1. Eri värien maksimi- ja minimiluminanssien suhteet ovat sallituissa rajoissa: punainen 2.2:1, valkoinen 1.7:1 ja keltainen 1.7:1.

Valkoisen tekstin värikoordinaatit eivät vastaa ICAO Annex 14:n vaatimuksia, kuten kuvassa 15 on havainnollistettu. Sen sijaan keltaisen ja punaisen värikoordinaatit ovat täysin määräysten mukaisia. SGN263+:n mittauspöytäkirja on liitteenä K. Mittauspöytäkirjaan on merkitty kaikkien kyltin mittauspisteiden luminanssi- ja värikoordinaattiarvot.



Kuva 13: SGN263+:n etupaneeli.

ADB:n kyltin etupinnan teippaus eroaa visuaalisesti selvästi muiden testiasennettujen LED-kylttien teippauksista. Ensinnäkin etupinta on FAA:n vaatimusten mukainen, mikä eroaa hieman ICAO:n vastaavasta. Esimerkiksi kyltin sijaintitietoa kuvaavan osion tulee FAA:n mukaan olla aina musta tausta keltaisella tekstillä ja

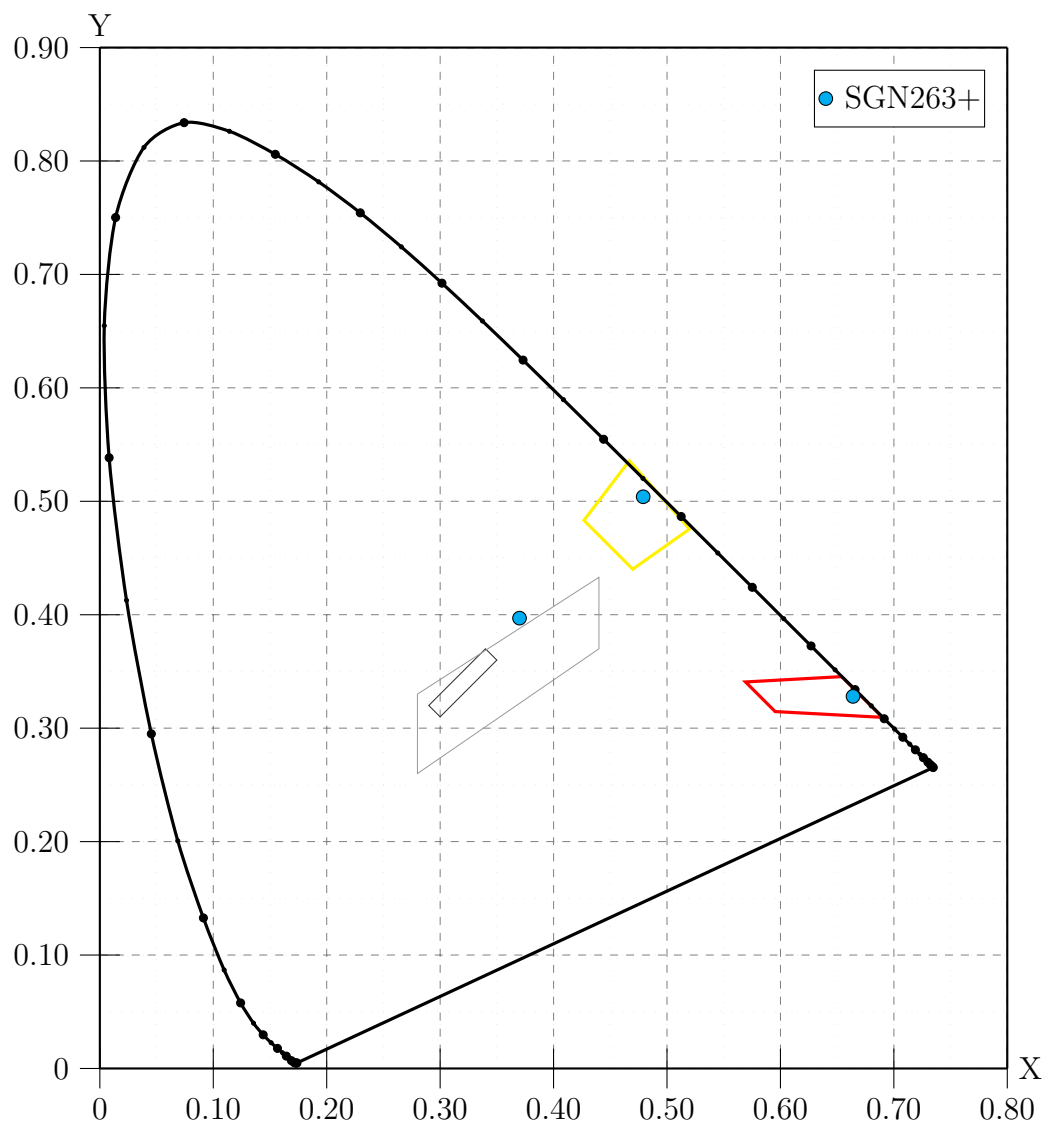
kehyksellä, mutta ICAO:n vaatimuksissa mustan taustan reunoilla ei saa olla keltaisia reunoja, ellei kyseessä ole ainoastaan sijaintia kuvaava kyltti. ICAO:n mukaiset kyltit on esitelty luvun 2.3 kuvissa 3 ja 4, joita voidaan verrata kuvassa 13 näkyvään SGN263+:aan.



Kuva 14: SGN263+:n heijastinpinta.

Toisekseen SGN263+:n etupinnan teippaus on valoa takaisinheijastava. Yllä olevassa kuvassa 14 on lähikuva kyltin etupinnasta. On todennäköistä, että heijastavan teippauspinnan valonläpäisykerroin kyltin sisäpuolelta ulospäin on merkittävästi pienempi kuin muiden rullausopastekylttien etupaneelien teippauksissa. Tämä johtaisi edellisissä kappaleissa mainittuihin huonoihin luminanssituloksiin, kun mittaustilanteessa kyltit ovat mahdollisimman pimeässä ympäristössä, eikä niihin osoiteta ulkopuolista valoa. Takaisinheijastava pinta saattaisi kompensoida kyltin heikkoa luminanssia tilanteissa, joissa valoa osoitetaan kyltin etupintaa kohti ja osa valosta heijastuu takaisinpäin.





Kuva 15: ADB:n määräävän rullausopastekyltin keskimääräiset värikoordinaatit CIE x,y-kromaattisuusdiagrammissa

## 5.2.5 TWOY

Taulukko 18: Kyltin SGN736 mittaustulokset

← 814		Keltainen		
		min	ka	max
30 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	162	195	224
	<b>x</b>	0,500	0,502	0,504
	<b>y</b>	0,490	0,491	0,493
100 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	167	207	240
	<b>x</b>	0,500	0,502	0,504
	<b>y</b>	0,489	0,491	0,493

Rullausopastekyltin SGN736 keskimääräinen luminanssi on noin 200 kandela neliömetriltä eli selvästi yli vähimmäisvaatimuksen. Huomiona voidaan mainita kyltin himmeimpienkin mittauspisteiden ylittävän  $150\text{ cd/m}^2$  rajan. Maksimi- ja minimiluminanssien suhde on noin 1.4:1. Tästä seuraa, että vierekkäisten mittauspisteiden suhteet ovat myös määräysten mukaiset, joten kyltti täyttää näkyvyysvaatimukset valon tasaisuudenkin osalta. Taulukossa 18 on esitetty luminanssien minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä 100 %:n että 30 %:n virtaportailla. Etupaneelin keltainen väri täyttää ICAO Annex 14:n asettamat määräykset, mikä käy ilmi kuvasta 16. Liitteessä L on esitetty kaikki kyltin SGN736 mittaustulokset.

Taulukko 19: Kyltin TWOY mittaustulokset

Y1		Keltainen		
		min	ka	max
30 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	52,2	125	214
	<b>x</b>	0,500	0,507	0,517
	<b>y</b>	0,477	0,486	0,494
100 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	71,9	138	235
	<b>x</b>	0,500	0,508	0,518
	<b>y</b>	0,476	0,486	0,494

Kyltti TWOY on sijaintia kuvaava rullausopastekyltti, jossa on keltainen sijaintitieto ja keltaiset kehykset mustalla taustalla. Mittauspisteet ovat kyltin keltaisilla alueilla, joten mitattavaa pinta-alaa on merkittävästi vähemmän kuin missään edellisistä kylteistä. Kyltin keskimääräinen luminanssilukema jää ylimmällä virtaportaalla  $12\text{ cd/m}^2$  alle Annex 14 -vaatimusten ja toiseksi ylimmällä virtaportaalla  $25\text{ cd/m}^2$  alle vaatimusten. Kyltin maksimi- ja minimiluminanssien suhde on 3.3:1 100 %:n valaistustasolla ja 4.1:1 30 %:n valaistustasolla, mitkä ovat määräysten mukaiset lukuarvot. Liitteeseen M on merkitty kaikkien mittauspisteiden tulokset. Mittauspisteet 5-10 ja 14 ovat selvästi kirkkaimmat ja sijaitsevat keltaisilla kirjaimilla kyltin keskiosassa, kun loput mittauspisteet ovat kyltin keltaisella kehyksellä lähellä reunaa ja huomattavasti himmeämmät. Huomionarvoista on, että vaikka kyltin keskimääräinen

luminanssi jää hieman alle vaatimustason, tekstiosan mittauspisteiden luminanssien keskiarvo on  $190 \text{ cd/m}^2$ . Tekstiosan kirkkaus on siten selvästi yli vaatimusten. Kyltin välittämän informaation kannalta on ensisijaisen tärkeitä tekstiosan viestin välittyminen lentäjälle, eikä reunojen kirkkaudella ole yhtä paljon merkitystä. Keltaisen värin värikoordinaatit ovat täysin vaatimusten mukaiset, mikä havaitaan kromaattisuusdiagrammista kuvassa 16. Kyltin luminanssien ja värikoordinaattien vähimmäis-, keski- ja enimmäisarvot on laskettu taulukkoon 19.

Taulukko 20: Kyltin SGN438 mittaustulokset

BD		Keltainen		
		min	ka	max
30 %	<b>L</b> ( $\text{cd/m}^2$ )	88,9	120	173
	<b>x</b>	0,484	0,491	0,498
	<b>y</b>	0,494	0,502	0,509
100 %	<b>L</b> ( $\text{cd/m}^2$ )	98,2	132	196
	<b>x</b>	0,484	0,491	0,497
	<b>y</b>	0,495	0,501	0,509

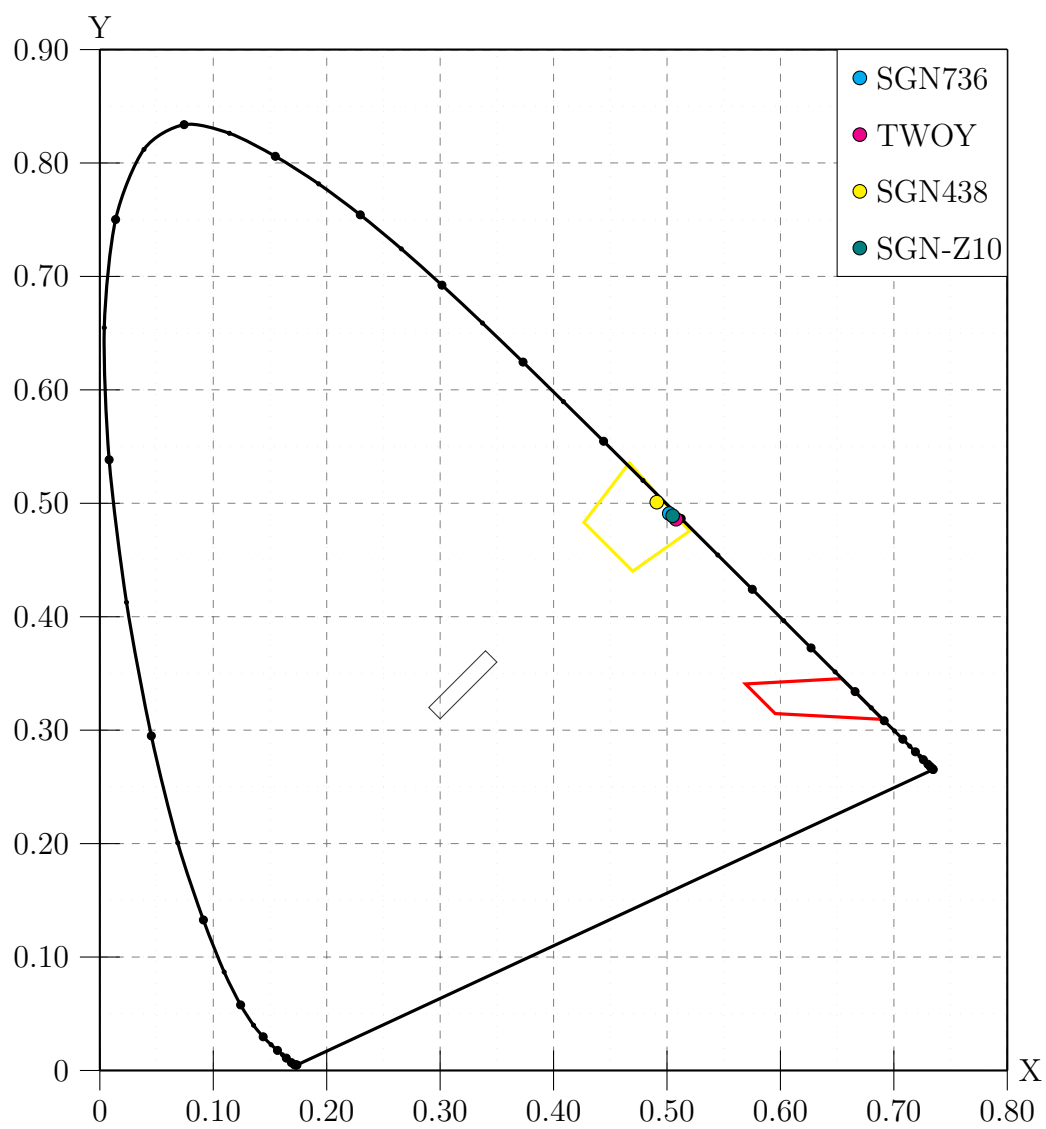
SGN438 on ulkonäöltään ja mittaustuloksiltaan lähes identtinen edellisen kyltin TWOY kanssa. SGN438 on myös sijaintia osoittava rullausopastekyltti. Kuten taulukosta 20 käy ilmi, keskimääräiset luminanssiarvot eivät täytä Annex 14 -vaatimuksia. Tässäkin tapauksessa osa mittauspisteistä sijaitsee kyltin reunoilla ja osa on kyltin tekstiosassa. Mittauspisteet 1-6 ovat keltaisella kehyksellä ja pisteet 7-10 sijaitsevat keltaisilla kirjainosilla. Korkeimmalla virtaportaalla keltaisen kehyksen keskimääräinen luminanssi on noin  $114 \text{ cd/m}^2$  ja tekstiosan vastaava arvo on noin  $159 \text{ cd/m}^2$ . Kuten edellisen kyltin kohdalla myös tässä tapauksessa tekstiosan keskimääräinen kirkkaus ylittää määräykset ja himmeät reunat laskevat koko etupinnan luminanssin keskiarvon alle minimirajan. Etupinnan maksimi- ja minimiluminanssien suhde on noin 2:1 ja siten vaatimusten mukainen. Mittauspisteiden tulokset on mittauspöytäkirjassa liitteessä N. SGN438 täyttää värikoordinaattien osalta ICAO:n määräykset, mikä voidaan havaita kuvasta 16.

SGN-Z10 on kahden edellisen kyltin tavoin sijaintia osoittava kyltti. SGN-Z10 on testisarjan ainoa rullausopastekyltti, joka mitattiin sisätiloissa. Mittaukset suoritettiin kaikilla viidellä virtaportaalla pimeässä mittaushuoneessa. Taulukon 21 mukaan kyltin keskimääräiset luminanssit kasvavat tasaisesti, kun virtaa nostetaan. Käytännössä 1 %:n - 10 %:n valaistustasojen luminanssiarvoilla ei ole mitään merkitystä, koska lentoliikennealueella kylttejä käytetään vain korkeimmilla virtaportailla. Sisämittausten perusteella SGN-Z10 ei kuitenkaan täytä Annex 14 -vaatimuksia korkeimmillakaan virtaportailla. Edes 100 %:n valaistustasolla kyltin etupinnan kirkkain mittauspiste ei yllä  $150 \text{ cd/m}^2$ . Tämänkin kyltin mittauspisteiden kirkkaudessa on selvä ero, kun verrataan keltaisen tekstiosan ja keltaisen reunuksen mittauspisteitä. Pisteet 7-16 sijaitsevat tekstiosassa ja niistä laskettu keskimääräinen luminanssi täydellä teholla on noin  $131 \text{ cd/m}^2$ . Vastaavasti keltaisen kehyksen keskimääräinen luminanssi on vain  $89 \text{ cd/m}^2$ , joka on laskettu mittauspisteistä 1-6.

Taulukko 21: Kyltin SGN-Z10 mittaustulokset

<b>Z10</b>		<b>Keltainen</b>		
		min	ka	max
1 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	23	45	53
	x	0,501	0,504	0,507
	y	0,483	0,488	0,491
3 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	30	56	66
	x	0,502	0,504	0,505
	y	0,486	0,488	0,490
10 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	40	73	84
	x	0,500	0,504	0,508
	y	0,485	0,489	0,492
30 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	57	105	123
	x	0,503	0,505	0,508
	y	0,486	0,488	0,490
100 %	<b>L</b> ( $cd/m^2$ )	64	115	132
	x	0,503	0,505	0,508
	y	0,486	0,489	0,491

Mittauspöytäkirjaan on kirjattu kaikkien mittauspisteiden luminanssit ja värikoordinaatit. Mittauspöytäkirja löytyy liitteestä O. Yksittäisiä mittauspisteitä tutkimalla nähdään, kuinka tasainen tekstiosan kirkkaus on; mittauspisteiden luminanssiarvot ovat  $128\text{--}132\text{ cd/m}^2$  välillä korkeimmalla virtaportaalla. Koko etupaneelin kirkkaimman ja himmeimmän mittauspisteen suhde on 2.1:1 ylimmällä valaistustasolla ja 2.2:1 toiseksi ylimmällä valaistustasolla. SGN-Z10:n keltainen väri täyttää värikoordinaattien osalta määräykset, kuten kaikki edellisetkin TWOY:n kyltit täyttävät. Kuvaan 16 on merkitty kaikkien TWOY:n toimittamien kylttien värikoordinaatit.



Kuva 16: TWOY-kylttien keskimääräiset värikoordinaatit CIE x,y-kromaattisuusdiagrammissa

## 6 Päätelmät

### 6.1 Asennus- ja käyttökokemuksia LED-rullausopastekylteistä

Kahden vuoden testijakson aikana LED-käyttöisistä rullausopastekylteistä on kertynyt arvokasta tietoa ja kokemusta, jotka on järkevää huomioida kylttejä arvioitaessa. Käyttökokemusten mittaaminen on vaikea - ellei mahdoton - tehtävä, mutta ne ovat usein ratkaisevan tärkeä tekijä valintoja tehtäessä. Helsinki-Vantaan lentoasema on ympäristönä haastava rullausopastekylteille ja vain kokemusten kautta on mahdollista selvittää, kuinka hyvin mikäkin kylttimalli lentokentälle todellisuudessa soveltuu. Esimerkiksi teknisesti ylivoimaisen kyltin valitseminen uudishankintoihin ei kannata, jos se ei selviä talviolosuhteista ongelmitta.

Safegaten kyltit on koettu mekaniikaltaan hyvin toimiviksi. Safegaten kylttien asennus on ollut ylivoimaisesti helpointa. Ilman harjoittelua kyltin pystyttäminen onnistui nopeammin kuin Tammerneonin valmistamien kylttien, joista on kokemusta monen vuoden ajalta. Muutaman kylttipystytyksen jälkeen Safegaten mallit olivat arviolta noin puolet nopeammin asennettavia kuin Tammerneonin kyltit. Safegaten kylttien kannakkeet tosin koettiin hieman "heppoisiksi". Etupaneelin kiinnityslukot vaikuttavat paremmilta kuin muilla kylttivalmistajilla ja kotelon tiiveys on hyvä, eikä kylttien sisältä ole löytynyt kuraa kuin muutamia yksittäisiä roiskeita. Ledeissä ei ole havaittu vikoja. Ainoa vakava ongelma, joka on Safegaten kylteissä huomattu, on vanhanmallisten LED-kylttien aiheuttama häiriö ajoneuvojen ilmailuradioissa. Suurimman häiriön lähettää kyltti SGN702, joka aukaisee radion kohinasalvan noin 1-5 metrin etäisyydellä kyltistä. Häiriö ei kuitenkaan estä radion toimintaa lähetyksistä vastaanottosuuntaan. SGN702:n lähettämän häiriösignaalin tasoksi mitattiin 10...15 dBm VHF-alueella metrin etäisyydellä kyltistä. Häiriösignaalin spektri on mittausten perusteella laajakaistaista valkoista kohinaa.

All About Signsin toimittamien kylttien kanssa koettiin muutamia ongelmia. Merkittävin vika on ollut ilmankosteuden tiivistyminen vedeksi kylttirungon sisällä ja kyltin tiiveyden ansiosta vedelle ei ollut ulospääsyä. Tämän seurauksena vettä kertyi kylttien sisälle niin paljon, että osa LED-valaisinnauhoista kastui, oikosulkeutui ja lopulta pimeni. Ongelma saatiin ratkaistua asentamalla palloventtiilit kylttirungon pohjaan, joiden kautta vesi pääsee valumaan ulos. Asennusten yhteydessä kyltit koettiin painaviksi ja kylttijalkojen sijoittelussa haastetta muodosti vähäinen säätövara sivusuunnassa. Lisäksi kumista valmistettujen jalkalaattojen kiinnitys löystyi ensimmäisen talven aikana.

IAT:n kylteissä LED-elementit ovat toimineet ongelmitta, mutta kylttien virrankäyttö on erikoista, kuten myös luvun 5 virtamittauksissa havaittiin. Virtamuoto on sahalaitaista. Asennus todettiin hankalaksi, etenkin kyltin pienet osat ovat todella hankalia talviolosuhteissa. Kylttijalkojen säätövara on pieni ja etupaneelin lukkiinnityksen väliin kerääntyy kuraa ja on vaikea avata. Tämän lisäksi kyltin yläreunasta vuotaa kuraa etupaneelin sisäpuolelle.

ADB-kyltin asennus koettiin helpohkoksi. Kyltin etupaneelin avaaminen huoltoa varten on vaativampi operaatio kuin muiden valmistajien kylttimalleilla. ADB:n rullausopastekyltin säänkestävyys on ollut muita kylttejä huonompi ja siten valon-

lähteiden toiminnan kanssa on ollut ongelmia.

TWOY:n ledeillä varustetut Tammerneonin kylttirungot ovat säilyneet toimintakuntoisina, eikä rungon sisään ole kertynyt merkittävästi kuraa. Asennuskokemukset ovat olleet positiivisia, koska Tammerneonin kylttejä on ollut käytössä noin kaksikymmentä vuotta.

## 6.2 Kylttivalmistajien ilmoittamien ja mitattujen tulosten vertailu

Tässä alaluvussa on vertailtu, kuinka hyvin valmistajien ilmoittamat tehonkulutuslukemat vastaavat Helsinki-Vantaan lentoasemalla suoritettuja mittaustuloksia. Kylttivalmistajat ilmoittavat omissa tuotekuvauksissaan ja data-lehdissään kylttien monia ominaisuuksia. Ongelmaksi muodostuu, että ilmoitetut lukemat ja kuvaukset ovat usein teoreettisia tai laboratorio-olosuhteissa suoritettuja mittauksia. Tämän seurauksena ilmoitetut ominaisuudet eivät välttämättä vastaa todellisia tuloksia.

Vertailun tuloksien perusteella voidaan tehdä joitakin päätelmiä. Esimerkiksi onko kylttivalmistaja pyrkinyt todenmukaisesti lukemiin omissa tiedoissaan tai onko kylttimallin suunnittelussa pyritty hyvään suorituskykyyn vain laboratoriossa vai myös osana oikeaa sarjapiiriä lentokenttäolosuhteissa.

Taulukko 22: Kylttivalmistajien ilmoittamien ja mitattujen pätötehojen vertailu.

	Valmistajan ilmoittamat arvot		Mitatut tulokset	
	P (W)	P/A (W/m <sup>2</sup> )	P (W)	P/A (W/m <sup>2</sup> )
SGN439	43	20,5	41,8	19,9
SGN663b	54	48,2	68,3	61,0
SGN700a	77	44,0	90,6	51,8
SGN702a	84	31,1	103,0	38,1
SGN716	72	88,9	Ei mitattu	Ei laskettu
SGN669b	30	21,4	27,5	19,6
SGN703b	45	25,0	28,3	15,7
SGN666a	<65	<41,7	49,5	31,7
SGN667b	<65	<83,3	35,9	46,0
SGN263+	100	41,1	70,6	29,0
SGN438	135	204,5	48,2	73,0
TWOY	180	206,9	43,1	65,3
SGN736	270	225,0	45,2	37,7

Taulukkoon 22 on merkitty sekä valmistajan ilmoittama että mitattu pätötehonkulutus ja laskettu niitä vastaavat tehonkulutukset pinta-alaa kohden. Valmistajien ilmoittamat lukuarvot ovat samat kuin luvussa 3 ja mitatut tulokset ovat vastaavat kuin luvussa 5.1. Vihreällä värillä on kuvattu tuloksia, joissa mitatut lukemat vastaavat valmistajan ilmoittamia tai ovat jopa parempia kuin ilmoitetut. Punaisella

värillä on merkitty tulokset, joissa mitatut lukemat ovat merkittävästi suurempia kuin valmistajan ilmoittamat lukemat. Sinisellä värillä merkityt tulokset sivuutetaan, koska ilmoitetut arvot ovat halogeenilamppujen lukemat ja mitatut arvot ovat LED-valonlähteiden tuloksia.

Safegaten kyltti SGN439, eli slim-malli, vastaa sekä ilmoitettujen että mitattujen lukuarvojen osalta hyvin toisiaan. Vaikka vertailussa huomioitaisiin kyltin mitattu näennäisteho, niin mitattu lukuarvo olisi silti alle valmistajan ilmoittaman arvon. SGN439 vaikuttaa tehonkulutuksen osalta toimivan erinomaisesti Helsinki-Vantaan lentoasemalla. Safegaten kolme vanhempaa LED-mallin rullaosopastetta - eli kyltit SGN663b, SGN700a ja SGN702a - eivät vastaa slim-mallin tuloksia miltään osin. Pelkästään mitattuja pätötehoja vertaamalla ilmoitettuihin arvoihin huomataan, etteivät lukemat vastaa toisiaan. Mitatut pätötehot ovat noin 16-25 % korkeampia kuin valmistajan ilmoittamat. Tämän lisäksi vanhanmallisten kylttien tehokertoimet ovat alhaiset ja ne kuluttavat suurin piirtein saman verran loistehoa kuin pätötehoa. SGN716 on Safegaten valmistama, loisteputkilampuun varustettu lentokonepaikan koordinaattikyltti. Loisteputkikyltistä ei ole tehty mittauksia, joten se sivuutetaan. Yhteenvetona Safegaten osalta slim-mallinen kyltti vastaa mittausten perusteella ilmoitettua tehonkulutusta, mutta vanhanmalliset LED-kyltit eivät vastaa näiden mittausten perusteella.

All About Signsin kyltit SGN669b ja SGN703b kuluttavat mittausten perusteella vähemmän pätötehoa kuin valmistajan materiaaleissa on ilmoitettu. SGN703b:n mitattu näennäistehokin on 22 % vähemmän kuin ilmoitettu tehonkulutus. All About Signsin kyltit vastaavat suoritettujen mittausten perusteella hyvin valmistajan ilmoittamia tehonkulutusarvoja.

IAT:n SGN666a ja SGN667b kuluttavat vähemmän kuin 65 W pätötehoa, kuten valmistaja ilmoittaa. Toisaalta kylttien tehokertoimet ovat kaikista heikoimmat ja ne kuluttavat merkittävästi loistehoa. SGN667b kuluttaa jopa enemmän loistehoa kuin pätötehoa. Voidaan todeta, että IAT:n kyltit kuluttavat pätötehoa valmistajan ilmoituksen mukaisesti, mutta loisteho huomioiden kylttien tehonkulutus kasvaa 39-75 % suuremmaksi kuin ilmoitettu lukema.

ADB:n valmistama SGN263+ vastaa mittausten perusteella ilmoitettuja tehonkulutusarvoja. Pätötehon osalta mitattu lukuarvo on selkeästi alhaisempi kuin ilmoitettu tehonkulutus. Mitattu näennäistehokin on hieman alhaisempi kuin ADB:n ilmoittama lukema, joten todetaan mittausten ja ilmoitettujen arvojen vastaavan toisiaan.

Kyltit SGN438, TWOY ja SGN736 jätetään huomioimatta, koska kyseisistä kylteistä ei ole ilmoitettu kuin Tammerneonin alun perin toimittamien halogeenilampuun varustettujen kylttien tehonkulutuslukemat. Sen sijaan mittaukset on suoritettu, kun TWOY-yritys on jo modifioinut kyltit LED-käyttöisiksi. Voidaan kuitenkin todeta kylttien tehonkulutuksen pienentyneen merkittävästi, kun valonlähteet on vaihdettu halogeeneista ledeihin.



### 6.3 Yhteenveto

Parhaan LED-käyttöisen rullausopastekyltin valinnassa pyritään huomioimaan kaikki tässä diplomityössä aiemmin mainitut tekijät. Rullausopastekylttien arvioinnissa keskitytään vain teknisiin ominaisuuksiin ja taloudelliset tekijät jätetään huomiotta. Kyltit arvioidaan usean eri tekijän perusteella, joilla on erisuuruisia painokertoimia. Arvioinnissa on kolme pakollista ominaisuutta, jotka kylttien on täytettävä tai muuten kyseiselle rullausopastekyltille ei anneta lopullista arvosanaa. Kolme pakollista ominaisuutta ovat:

1. Kyltin tulee olla sisältä valaistu LED-valonlähteillä.
2. Kyltin tulee täyttää ICAO Annex 14:n määräykset luminanssiarvojen osalta.
3. Kyltin tulee täyttää ICAO Annex 14:n määräykset värikoordinaattien osalta.

Loput arvioitavat tekijät rullausopastekylteistä ovat tehonkulutus pinta-alaa kohden, tehokerroin, mekaanisten ja sähköisten vaatimusten täyttyminen, sekä kertyneet kokemukset. Nämä ominaisuudet pisteytetään välillä 0-10 ja painotetaan eri kertoimilla, jolloin kyltin maksimipistemäärä on 10. Tehonkulutus pinta-alaa kohden ja tehokerroin arvioidaan lineaarisella asteikolla suoritettujen mittaustulosten perusteella. Mekaaniset ja sähköiset vaatimukset esiteltiin luvuissa 2.5.1 ja 2.5.2. Rullausopastekylttien pisteytys on koottu taulukkoon 23.

SGN439 täyttää kaikki asetetut kolme pakollista vaatimusta. Sen tehonkulutus on testisarjan aivan kärkipäätä ja tehokerroin ylivoimaisesti korkein. Mekaaniset vaatimukset täyttyvät materiaalivalintojen ansiosta ja korkean IP-luokituksen myötä, eikä kyltin mekaniikan kanssa ole koettu mitään ongelmia. Sähköiset vaatimukset täyttyvät myös ja kyltti toimii hyvin osana sarjapiiriä. Slim-mallisesta kyltistä on vain positiivisia kokemuksia, kuten helppo asennus, tiivis kotelo ja toimivat LED-valonlähteet. SGN439 ei ole koettu oikeastaan mitään ongelmia, mikä selittää sen korkeaa pistemäärää.

SGN663b on pakollisten vaatimusten mukainen kyltti. Sen tehonkulutus kuuluu testisarjan huonompaan osaan, kuten myös tehokerroin on yksi huonoimmista. Mekaaniset vaatimukset täyttyvät kiitettävästi. Sähköiset vaatimukset täyttyvät, mutta heikot tehonkulutus ja tehokerroin saattavat merkitä, ettei kyltti toimi suunnitellulla tavalla sarjapiirissä. Kokemukset ovat positiivisia asennuksen osalta, mutta häiriösignaalin lähettäminen on vakava ongelma lentoasemalla, mikä laskee merkittävästi pisteitä.

SGN700a muistuttaa pisteiltään ja ominaisuuksiltaan hyvin paljon edellistä kylttiä SGN663b:tä, mikä ei ole yllätys. Molemmat ovat Safegaten vanhempaa LED-mallia. SGN700a on kuitenkin tehonkulutukseltaan hieman parempi kuin edellä mainittu kyltti.

SGN702a on Safegaten kolmas vanhempaa mallia oleva kyltti, joka on mukana testisarjassa. Kahdesta edellisestä kyltistä poiketen tämä rullausopastekyltti kuuluu määrääviin kyltteihin. SGN702a ei täytä punaisen värin osalta luminanssi- eikä värikoordinaattivaatimuksia. Tästä syystä kyltille ei voida antaa lopullista arvosanaa.

SGN716 ei ole LED-käyttöinen kyltti vaan loisteputkilampuin varustettu lentokonepaikan koordinaattikyltti, eikä se siten ole ehdolla uudeksi rullausopastekyltiksi. Luminanssi- ja värikoordinaattiarvojen puolesta kyltti on kuitenkin hyvin näkyvä ja sopii käyttötarkoitukseensa.

SGN669b täyttää asetetut pakolliset vaatimukset. Tehonkulutukselta se edustaa testisarjan parhaimmistoa, mutta myös sen tehokerroin on hyvää tasoa. Mekaaniset vaatimukset on huomioitu kyltin suunnittelussa, mutta kylttirungon sisälle kertyneet vesimäärät ovat aiheuttaneet ongelmia, mikä laskee pisteitä. Sähköiset ominaisuudet toimivat hyvin ja kyltti toimii hyvin lentokenttäalueella. Asennuskokemukset ja kylttijalkoihin liittyvät kokemukset laskevat myös kyltin pisteitä.

SGN703b on All About Signsin valmistama kyltti, kuten on myös edellinen kyltti SGN669b. SGN703b kuuluu määrääviin kyltteihin. Se ei täytä valkoiselle värille määrättyä luminanssitason vaatimusta, eikä siten ansaitse lopullista arvosanaa. Ominaisuuksiltaan se on kuitenkin vastaava SGN669b:n kanssa.

SGN666a on IAT:n valmistama informaatiokyltti ja se täyttää pakolliset vaatimukset. Tehonkulutukseltaan kyltti on hyvää tasoa, mutta sen tehokerroin on huonoimmasta päästä. Mekaaniset ominaisuudet eivät ole korkealla tasolla ja esimerkiksi kotelon tiiveys vaikuttaa olevan todella puutteellinen. Sähköiset ominaisuudet ovat myös heikot. Kyltin sisäänmenovirta on sahalaitaisen muotoista ja virrankäyttö erikoista. On mahdollista, että useampi tällä tavoin käyttäytyvä kyltti samassa sarjapiirissä voisi aiheuttaa ongelmia valaisimille, kylteille tai vakiovirtasäätimille. Asennus- ja huoltokokemukset ovat negatiivisia ja laskevat osaltaan pisteitä.

SGN667b on myös IAT:n valmistama rullausopastekyltti. Tehonkulutukseltaan se on testisarjan keskitasoa, mutta sen tehokerroin on selkeästi huonoin kaikista kylteistä. Mekaanisten ja sähköisten ominaisuuksien sekä kokemusten osalta se vastaa SGN666a:ta.

SGN263+ on testisarjan suurin kyltti ja se kuuluu määrääviin kyltteihin. Kyltti ei täytä punaisen, valkoisin tai keltaisin värin luminanssivaatimuksia, eikä valkoisen värikoordinaatit ole määräysten mukaiset. Näistä syistä kyltille ei voida antaa lopullista arvosanaa.

SGN438 on TWOY:n modifioima rullausopastekyltti. Kyltti ei täytä keskimääräisen luminanssin vaatimuksia, kuten luvussa 5.2.5 analysoitiin. Tästä syystä kokonaisarvosanaa ei voida antaa.

Kyltti TWOY on lähes identtinen SGN438 kanssa. Molemmat ovat modifioituja sijaintia kuvaavia kylttejä, eikä tämäkään rullausopaste täytä luminanssivaatimuksia. Vaikka muut ominaisuudet ovat hyvää tasoa, ei kyltille voida antaa loppuarvosanaa pakollisten ominaisuuksien puutteiden vuoksi.

SGN736 täyttää kaikki kolme asetettua pakollista vaatimusta. Kyltin luminanssiarvot ovat testisarjan parhaimmistoa. Tehonkulutuksen osalta SGN736 kuuluu testisarjan parempaan puoliskoon. Myös tehokerroin on keskitasoa tai hieman parempaa. Mekaaniset vaatimukset täyttyvät hyvin, koska kylttirungot ovat Tammerneonin suunnittelema ja todettu sopivan hyvin Helsinki-Vantaan lentoasemalle. Sähköiset ominaisuudet ovat kunnossa, eikä kylttien kanssa ole ollut ongelmia. Myös kokemukset kylteistä ovat positiivisia, erityisesti asennuskokemukset, kun kyseessä on tuttu kylttirunko.

Taulukko 23: Lopullisten tulosten yhteenveto.

	painokerroin (%)	SGN439	SGN663b	SGN700a	SGN702a	SGN716	SGN669b	SGN703b	SGN666a	SGN667b	SGN263+	SGN438	TWOY	SGN736
LED		X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Luminanssi		X	X	X		X	X		X	X				X
Värikoordinaatit		X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X
Tehonkulutus	20	10	5	6	8	-	10	10	8	7	9	4	5	8
Tehokerroin	20	10	1	1	2	-	6	7	2	0	6	7	8	7
Mek. vaatimukset	20	9	9	9	9	-	6	6	3	3	2	8	8	8
Sähk. vaatimukset	10	9	7	7	7	-	8	8	2	2	8	9	9	9
Kokemukset	30	9	2	2	2	-	5	5	4	4	2	9	9	9
Yhteensä	100	9,4	4,3	4,5	-	-	6,7	-	4,0	3,4	-	-	-	8,2

Luminanssi- ja värikoordinaattimittauksia suoritettiin 14 eri kyltille, joista yksi mitattiin vain sisätiloissa ja toinen kyltti oli loisteputkikyltti. Tämän seurauksena toisiinsa vertailtavia LED-kylttejä on lopulta 12 kappaletta viideltä eri kylttivalmistajalta ja erilaisia kylttimalleja on kuusi kappaletta: kaksi eri mallia Safegatelta ja yksi malli All About Signsilta, IAT:ltä, ADB:ltä sekä TWOY:ltä. Näistä 12 kyltistä loppuarvosanan sai vain seitsemän kylttiä. Ainoat kylttimallit, joiden kaikki kyltit saivat loppuarvosanan, ovat Safegaten uusi slim-malli ja IAT:n kyltit. Muista kylttimalleista vähintään yksi kyltti on hylätty, koska se ei ole täyttänyt pakollisia vaatimuksia.

Huomionarvoista on, että kaikki testisarjan määräävät kyltit jäivät ilman lopullista arvosanaa. Toisin sanoen niiden luminanssitasot tai värikoordinaatit eivät vastanneet ICAO Annex 14:n vaatimuksia. On kuitenkin mainittava, että luminanssi- ja värikoordinaattimittauksissa yksi merkittävä epävarmuustekijä on mittalaite, jota ei ole kalibroitu 20 vuoteen. Tästä syystä on mahdollisuus systemaattiseen virheeseen luminanssi- ja värikoordinaattimittausten tuloksissa.

Tässä työssä suoritettujen mittausmenetelmien ja -tulosten sekä analysoinnin perusteella Safegaten uudenmallinen slim-kyltti on selvästi paras vaihtoehto rulausopastekylttien uudishankintoihin. Teknisiltä ominaisuuksiltaan kyltistä ei ole ilmennyt heikkoja tai huonoja ominaisuuksia, vaan se on kaikilta osin testisarjan parhaimmistoa.

TWOY:n modifioimat kyltit ja All About Signsin valmistamat kyltit ovat seuraavaksi parhaat vaihtoehdot, jos All About Signs on suunnitellut kyltteihin ulospääsyn rungon sisälle kondensoituvalle vedelle.

IAT:n, ADB:n tai Safegaten valmistamaa vanhempaa LED-mallin kylttejä ei voida suositella tässä työssä suoritettujen mittausten, huomioiden ja kokemusten perusteella.

## Viitteet

- [1] Aerodrome design manual. Part 4, Visual Aids. 4th ed. Montreal, International Civil Aviation Organization, 2004.
- [2] *Säädökset*, [viitattu: 19.1.2016], saatavilla: <http://www.trafi.fi/ilmailu/saadokset>. Trafi. Verkkodokumentti.
- [3] *EASA regulaation vaikutukset lentoaseman ja yhteistoimintaviranomaisten toimintaan*. [Viitattu 19.1.2016], saatavilla: <http://www.ctif.fi/resources/public//Lentoasemien%20pelastustoiminta/Lentoasemien%20pelastustoimintaseminaari%208.5.2014/Trafi%20Heikki%20Silpola.pdf>. Trafi. Verkkodokumentti. 2014. 16 s.
- [4] Nurmi, J. Lentoasemien pelastustoiminta, [viitattu: 19.1.2016], saatavilla: [http://www.ctif.fi/resources/public//Lentoasemien%20pelastustoiminta/Lentoasemien%20pelastustoiminta%202012/Trafi\\_kommenttipuheenvuoro.pdf](http://www.ctif.fi/resources/public//Lentoasemien%20pelastustoiminta/Lentoasemien%20pelastustoiminta%202012/Trafi_kommenttipuheenvuoro.pdf). Trafi. Verkkodokumentti. 2012. 9 s.
- [5] Satosuo, M. 2016. Järjestelmäasiantuntija, Finavia Oyj, Vantaa. Sähköpostiviesti. 19.1.2016.
- [6] *IDM 8000 Vakiovirtasäädin*. Tekninen dokumentti. Idman, Vantaa. 53 s.
- [7] Tukia, A. Kiitotien lähestymis- ja reunavalaisimien valotekninen kehittäminen. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, sähkötekniikan osasto, Espoo, 1992.
- [8] *AGA M3-7, lentoaseman visuaaliset maalaitteet*. Trafi. Ilmailumääräys. 2013. 96 s.
- [9] International Standards and Recommended Practices, Aerodromes. Annex 14. Vol I, Aerodrome Design and Operations. 6th ed. Montreal, International Civil Aviation Organization, 2013. 336 s.
- [10] Halonen, L., Lehtovaara, J. Valaistustekniikka. Otatieto: Espoo. 1992. 456 s.
- [11] Kiiveri, P. 2016. Senior Optical Designer, Idman Airfield Lighting Oy, Vantaa. Haastattelu. 28.1.2016.
- [12] *Airport Visual Aid Technologies*. [Viitattu 14.5.2016], saatavilla: [http://www.icao.int/SAM/Documents/VISUALAIDS.11/1\\_FAA%20NAV%20AIDS%20SPECIFICATIONS\\_AL.pdf](http://www.icao.int/SAM/Documents/VISUALAIDS.11/1_FAA%20NAV%20AIDS%20SPECIFICATIONS_AL.pdf). ICAO Workshop on Air Navigation Visual Aids New Technologies, Lima, Peru. Verkkodokumentti. 2012.
- [13] *Invitation for tenders*. Finavia Oyj. 2013. Pdf-tiedosto.
- [14] *Liukkaudentorjunta ja jäänesto*. [Viitattu 26.1.2016], saatavilla: <http://vuosikertomus.finavia.fi/fi/2012/tulosta/e20qM3XuTj6zqi5y8ok4Eg/>. Finavia Oyj. 2012. Verkkodokumentti.

- [15] *Pienennämme vesistöjen kuormitusta hyvällä suunnittelulla.* [Viitattu 26.1.2016], saatavilla: <https://www.finavia.fi/fi/tietoa-finaviasta/vastuullisuus/ymparisto/vesi/>. Finavia Oyj. 2016. Verkkodokumentti.
- [16] Finavian vuosikertomus 2013. [Viitattu: 17.12.2015], saatavilla: <http://vuosikertomus.finavia.fi/fi/2013/vastuullisuus/vastuuteemat/vesi-ja-maaperapaastojen-hallinta/liukkaudentorjunta/>. Finavia Oyj. 2013. Verkkodokumentti.
- [17] Alatyppö, Aromaa, Homikari. Kaliumformiaatin korroosiovaikutukset. Tiehallinnon selvityksiä 31/2008. Tiehallinto, Helsinki, 2008. 60 s. ISBN 978-952-221-134-7.
- [18] Kuokkala, V-T. Uusien jäänsulatusaineiden vaikutus lentokonemateriaalien korroosioon. Loppuraportti. Materiaaliopin laitos Tampereen Teknillinen Yliopisto. Tampere. 2006. 272 s.
- [19] *Manual SafeLED Signs.* [Viitattu 21.3.2016], saatavilla: [http://www.safegate.com/data/safegate/files/file\\_element/89d3fea340e06a721d5539f2ff6c701d/SG\\_AFS\\_Manual\\_SafeLED\\_Sign.pdf](http://www.safegate.com/data/safegate/files/file_element/89d3fea340e06a721d5539f2ff6c701d/SG_AFS_Manual_SafeLED_Sign.pdf). Tekninen dokumentti. Safegate, Malmö, Ruotsi. 2015. 20 s.
- [20] *Manual SafeSign LED.* [Viitattu 21.3.2016], saatavilla: [http://www.safegate.com/data/safegate/files/file\\_element/ec9d47d1cd5185ee7cfff12a547ec3db4/SG\\_AFS\\_Manual\\_v1\\_5.pdf](http://www.safegate.com/data/safegate/files/file_element/ec9d47d1cd5185ee7cfff12a547ec3db4/SG_AFS_Manual_v1_5.pdf). Tekninen dokumentti. Safegate, Malmö, Ruotsi. 2012. 30 s.
- [21] *Product description SafeSign LED.* [Viitattu 21.3.2016], saatavilla: [http://www.safegate.com/data/safegate/files/media/Products/Safegate\\_Solutions/SafeSign/gallery\\_1609/object\\_3901\\_large.pdf](http://www.safegate.com/data/safegate/files/media/Products/Safegate_Solutions/SafeSign/gallery_1609/object_3901_large.pdf). Tekninen dokumentti. Safegate, Malmö, Ruotsi. 6 s.
- [22] *Product description SafeLED Signs.* [Viitattu 21.3.2016], saatavilla: [http://www.safegate.com/data/safegate/files/document/SG\\_AFS\\_Product\\_Description\\_SafeLED\\_Sign.pdf](http://www.safegate.com/data/safegate/files/document/SG_AFS_Product_Description_SafeLED_Sign.pdf). Tekninen dokumentti. Safegate, Malmö, Ruotsi. 2014. 10 s.
- [23] *Safegate-kyllit.* Finavian sisäinen dokumentti. Excel-tiedosto.
- [24] *Technical specifications Taxiway GuidanceSign.* [Viitattu 21.3.2016], saatavilla [http://www.allaboutsights.nl/downloads/FLAT-Light\\_TGS\\_Technical\\_specifications\\_sum\\_v2-0-1403001.pdf](http://www.allaboutsights.nl/downloads/FLAT-Light_TGS_Technical_specifications_sum_v2-0-1403001.pdf). All About Signs. Tekninen dokumentti. 3 s.
- [25] *IAT-kyllit.* Finavian sisäinen dokumentti. Excel-tiedosto.
- [26] *Data sheet: AGSF-L.* [Viitattu 21.3.2016], saatavilla: [http://www.adb-air.com/media/Documents/811/3006\\_AGSF-L\\_FAA%20LED%20Sign.pdf](http://www.adb-air.com/media/Documents/811/3006_AGSF-L_FAA%20LED%20Sign.pdf). ADB Airfield Solutions. Tekninen dokumentti. 4 s.

- [27] *Sisältävalaistut kiitoratakyttilit*. Tekninen dokumentti. Tammerneon, Tampere.
- [28] *TWOY-kyttilit*. Finavian sisäinen dokumentti. Excel-tiedosto.
- [29] Seppälä, J. Polymeeriteknologian perusteet. Otatieto: Espoo. 2005. 346 s.
- [30] *CS-100A Luminance Color Meter*. [Viitattu 7.4.2016], saatavilla:  
[http://sensing.konicaminolta.us/products/  
cs-100-luminance-and-color-meter](http://sensing.konicaminolta.us/products/cs-100-luminance-and-color-meter). Konica Minolta. Verkkodokumentti.

## A Pauli Kiiverin haastattelun litteraatio

Haastattelu-aika ja -paikka: 28.01.2016, Tahkatie 1 B2 Vantaa.

Haastattelija: Jesse Läykki, Aalto-yliopiston sähkötekniikan korkeakoulu.

Haastateltava: Pauli Kiiveri, Senior Optical Designer, Idman Airfield Lighting Oy.

Äänitteen kesto: 00:23:58

H: Idmanilla on kauan jo tehnyt lentokenttävalaisimia ja kylttejä, mutta nyt kun on siirrytty ledeihin, niin onko määräykset tuottanut paljon ongelmia tai päänvaivaa? Määräyksethän on pysynyt suurinpiirtein samoina vuosien aikana, mutta ledithän on kuitenkin melko uusi teknologia.

PK: Sanotaan että optisestihan ledeillä on helpompi toteuttaa valaisimia kuin halogeeneilla sen takia, kun valonlähde on niin paljon paremmin määritelty ja toistettavampi. Se säteilevä pinta-ala on pienempi kuin halogeeneissa. Kohdistaminen on helpompaa, ja voi käyttää pienempiä linssejä ja heijastimia. Kaikki mahtuu kompaktimpaan pakettiin. Hyötysuhteet on niin paljon parempia, että valoa on yleensä riittävästi käytettävissä useimpiin tarkoituksiin nyt, kun ledit on kehittyneet. Muutama vuosi sitten oli ongelma kaikkein suuritehoisimpien valaisimien kanssa, että niissä ledien tehot ei meinannut vain riittää, vaikka hyötysuhteet oli hyviä, mutta niitä olisi pitänyt laittaa niin paljon, ettei se toiminut. Nyt sekin ongelma alkaa olla ratkaistu. Ledeillä voi tehdä jokseenkin kaikki valaisimet. Se mikä on tavallaan ollut ongelma, ja on edelleenkin, on se että standardit perustuu halogeeneihin. Eli just tää virtakäyrä on epälineaarinen, koska halogeenien toiminta on epälineaarinen. Ledihän on lineaarinen valonlähde, jolloin sen luonnollinen ohjauskäyrä olisi lineaarinen - suora - ja nyt sitten virtaportaat on valittu epälineaarisesti, niin täytyy käyttää turhaan elektroniikkaa, että me saadaan se toimimaan halogeeniympäristössä.

H: Niin siis nimenomaan tässä nykyisessä järjestelmässä. Siitä itse asiassa olikin kysymys tarkalleen: mistä tulee nämä säätimien virtaportaat ja niitä vastaavat suhteelliset valaistustasot? Eikö ne ole suoraan lähinnä vain halogeenien ominaisuuksia?

PK: Joo, se on epälineaarinen. Kun se virta kasvaa, niin se valoteho kasvaa eksponentiaalisesti tai ainakin epälineaarisesti. Jostain standardeista - IEC:stä tai FAA:sta - löytyy ne käyrät, ja halogeenien toiminnasta löytyy, kun googlailee, se teoriakin, miksi se niin toimii.

H: Onko sitten ledeissä jotain haasteita tai ongelmia verrattuna näihin halogeenipohjaisiin valaisimiin tai valonlähteisiin? Vai alkaako tilanne olla jo, että ei oikeestaan ongelmia ole?

PK: Pääasiassa on ratkaistu. Perusongelma niissä on ollut ja on se, että ledit tuot-

taa lämpöä käytännössä noin 20 % siitä mitä halogeenit, mutta se lämpö ei säteile pois. Se täytyy johtaa pois. Halogeeneissa ja hehkulampuissa 80 % siitä lämmöstä säteilee pois. Se voidaan johtaa optiikan läpi pois. Ledeissä sen optiikan läpi ei tule paljoakaan lämpöä ulos, niin ledit täytyy aina kytkeä hyvin lämmönjohtavasti siihen muuhun ympäristöön.

H: Joo, se oli jossain vaiheessa itsellekin yllätys, kuinka paljon ledit loppujen lopuksi tuottaa lämpöä, kun sitä ei huomaa.

PK: Itse asiassa ne tuottaa johdettavaa lämpöä jokseenkin saman verran kuin halogeenit siellä kannassa. Vaikka hyötysuhde on niin paljon parempi, mutta se johtuu siitä, ettei säteilylämpöä kerry sinne. Kaikki valo tuotetaan näkyvän valon alueella, eikä pääosin infrapuna-alueella niin kuin halogeeneissa käytännössä tapahtuu.

H: Mutta lentokentällähän osittain se lämpöhän pystytään käyttämään tavallaan hyödyksi, varsinkin Suomen talvisissa oloissa. Esimerkiksi linssit tai valaisimet ei jäädy.

PK: Sekin on kaksipiippuinen juttu. Optimaalitilanne saattaisi olla, että niitä ei sulatettaisi ollenkaan, vaan pidettäisiin koko ajan ympäristön lämpötilassa. Jollain lumi ei esimerkiksi sulaisi tai sitten uudelleen jäätyisi lämpötilan laskiessa. Tällöin se pinta ja ympäristö olisi jatkuvasti samassa lämpötilassa, jolloin materiaali ei tartu niin tiukasti se on helpompi poistaa. Tästä on ollut juttua ja varmasti Finaviolla alkaa olla niin paljon kokemusta, että tietää paremmin kuin me, että miten se käytäntö oikeasti on. Tätä on spekuloitu; onko se järkevää lämmitellä valaisimia vai eikö? Ledivalaisimia siis. Saataisiin se lumi pois helpommin, mielummin lämmitämättä ja harjauksella.

H: Aivan. Onhan kuitenkin kehitetty jonkin verran erillisiä lämmittimiä?

PK: Se on periaatteessa ihan mahdollista. Mun mielestä Finavia ei ole halunnut, jos me ollaan tarjottu lämmitysoptiota valaisimiin. Ollaan toimitettu kyllä ledi pinnallisia valoja, joissa on lämmitys toteutettu. Tämä on sellainen asia, että kun tulee riittävästi käyttökokemusta, niin asiakkaat pystyy paremmin päättämään. Mun veikkaus on, että harva tulee haluamaan niitä lämmityksiä, kun se on ylimenevää energiankulutusta, jos niitä alkaa käyttämään.

H: Miten muuten ledien himmennettävyyys onnistuu nykyään? Siihen on vissiin useampikin tapa himmentää ledejä?



PK: Kaksi perustapaa on; säädetään virtaa tai säädetään pulssinleveyttä. Puls-  
sinleveyttä säättäessä joudutaan miettimään sitä, että missä vaiheessa tulee tämä  
flicker-ilmiö vastaan. Sitä vasta standardikomissiot pohtii, että mikä sen merkitys on  
ja miten sitä pitää huomioida.

H: Onko teidän tuotteissa käytössä PWM-himmennettävyyys vai oletteko enem-  
män virran säädön kannalla?

PK: Meillä elektroniikka tulee tuolta Safegaten kautta, mutta siinä on useamman  
sadan hertzin modulointitaajuus silloin, kun sitä käytetään niissä älykkäissä valaisi-  
missa.

H: Jos mietitään ledien huollettavuutta, niin valaisimissa tuskin on suurta eroa?  
Halogeeni- ja led-lampun vaihtaminen tapahtuu varmaan samanlailla?

PK: Se (led-lampun vaihtaminen) on pikkusen hankalampaa. Ne on ruuvikiinnit-  
teisiä, että saadaan kunnon lämpökontakti siihen. Se ei oo ihan yhtä helppoa kuin  
halogeenin vaihto, mutta toisaalta niiden elinikä on niin paljon pidempi, ettei niitä  
tartte vaihtaa kuin toivottavasti kerran viidessä tai kymmenessä vuodessa.

H: Mikä on suurin piirtein elinikä, jonka te annatte ledeille?

PK: Siis led-valmistajathan ilmoittaa kymmenestä tuhannesta kolmeenkymmeneen  
tuhanteen tuntiin. Silloin se (valovirta) on laskenut 70 % alkuperäisestä. Tää elinai-  
kahan riippuu merkittävästi käyttölämpötilasta, siitä virrasta millä sitä ajetaan. Ne  
(elinajat) on annettu tietyille virta-arvoille ja ympäristön lämpötiloille. Ne täytyy  
katsoa käyrästä ja laskeskella uudestaan, jos tuote on esimerkiksi jossain tuolla  
Saharan reunalla tai muualla.

H: Eli ledeilläkin se virta, millä sitä ajetaan, vaikuttaa samanlailla kuin esimer-  
kiksi halogeeneilla? Siihen elinikään siis.

PK: Ei läheskään yhtä rajusti kuin halogeeneilla, vaan paljon lievemmin, mutta  
vaikuttaa kuitenkin. Varsinkin silloin jos pysytään speksirajoissa. Jos jostain syystä  
ajetaan siellä speksin ylärajoilla tai ylitetään niitä ja vielä samassa lämpötilat menee  
ylärajoilla, niin alkaa tulla riski, että elinikä lyhenee.

H: Okei. Nämä ajettavat virrat on varmaan lentokentillä kuitenkin helposti las-  
kettavissa ja ennustettavissa, kun säätimien eri virtaportaiden käyttömäärät pysyy  
samalla tasolla vuosittain?

PK: Joo. Suomihan on tällainen, että keskimääräiset ympäristön lämpötilat on pieniä verrattuna. Koska nämä tuotteet täytyy suunnitella niin, että toimii tuolla Saharassa +55 C:ssä. Täällä kuumimpina kesäpäivinä asfaltissa paistaa suunnilleen siihen lämpötilaan.

H: Ledien hinnankkehityksestä. Ledit on hieman kalliimpia kuin mitä halogeenipohjaiset? Ainakin valaisimien osalta.

PK: Valaisimet on kalliimpia, mutta se johtuu siitä, että niihin laitetaan aika paljon - esimerkiksi Safegatella - elektroniikkaa, jonka kautta niitä pystytään ohjaamaan. Se on kaikissa näissä älyvalaisimissa periaatteessa optiona tai valmiina siellä.

H: Miten itse näet hinnankkehityksen? Tullaanko lähiaikoina ottamaan halogeenit kiinni vai tullaanko koskaan ottamaan?

PK: No ledien hintakehitys lienee kohtuullisesti saturoituneen. Se ei enää hirveästi putoa, koska valmistustekniikat on kehittynyt jo aika hyvin. Samoin ledien hyötysuhdekin alkaa olla saturoitunut. Se ei enää kovin suuresti parannu. Ja sitten se hintaero tulee käsittääkseni pääosin siitä elektroniikasta ja vähän monimutkaisemmista kokoonpanoista ja testauksesta kuin mitä halogeenien puolella on. Joten elektroniikkatason hinnannmuutoksessa ei tapahdu paljon muutoksia. Joten en mitään kovin jyrkkiä hinnannmuutoksia ennustaisi tässä vaiheessa.

H: Ledeissä on siis paljon sitä elektroniikkaa, jotta saadaan ledit sopimaan nykyisille sarjapiireille, missä saattaa olla yli kuuden ampeerin virtoja. Safegatenkin led-valaisimet toimivat noin 2,5 A:n virralla 100 % valaistustasolla. Vähentäisikö se elektroniikkaa tai sen monimutkaisuutta, jos sarjapiirit toimisi vaikka vain parin ampeerin virroilla?

PK: Jos standardeista poistettaisiin se, että systeemien täytyy toimia 6,6 A:n systeemeissä. Niiden ei tarvitsisi toimia. Niin silloin se voitaisiin suunnitella suoraan tällaiseen kahden ampeerin systeemiin. Silloin muuntajat ja kaikki olisi pienempiä, ja sitä kautta rupeaisi kertymään säästöjä.

H: Eli se olisi varmaan sitten se seuraava?

PK: Se olisi seuraava, kunhan standardit rupeaisi kehittymään siten, että ne tehdään puhtaasti led-valaisimille, eikä silleen että ne on tehty halogeeneille ja sitten vaaditaan, että ledit toimivat myös halogeenien standardiympäristössä. Mutta siihen todennäköisesti menee vielä useita vuosia aikaa, kun vasta nyt näissä standardityö-

ryhmissä pohditaan, että miten ne pitäisi hoitaa. Tällaisessa hommassa tyypillisesti menee viidestä kymmeneen vuotta, kun saadaan jotain oikeesti konkreettista aikaan.

H: Nämä päätökset täytyy varmaan tehdä sitten ihan kansainvälisellä tasolla?

PK: ICAO, FAA, IEC. Kaikissa näissä täytyy päästä kohtuulliseen yhteisymmärrykseen, että meillä on yhtenäiset standardit.

H: Ledien spektrihän on tosi kapea ja ilmeisesti eri väriset valot tuotetaan suoraan ledissä itsessään, eikä käytetä mitään värisuotimia?

PK: Joo, siis nämä aidot värit - eli punainen, vihreä, keltainen, sininen - tuotetaan suoraan sillä puolijohde-energiagäpillä. Valkoinen tuotetaan fosforikonversiolla, jolloin se on laaja spektrinen, kuten sen pitääkin olla. Sinisellä tai violetilla ledillä syötetään ja se fosfori generoi siitä laajemman valkoiselle alueelle.

H: Kun nämä värikoordinaatit on määritelty jokseenkin tarkasti lentoliikenneympäristössä, niin onko ollut vaikeuksia saada ledejä näille värialueille?

PK: Ei ICAO:n alueelle, mutta sitten FAA:ssa on esimerkiksi jotain vihreätä, jota käytetään jossain tuolla Australiassa, joka poikkeaa ICAO:n vihreästä. Niin sellaisia ledejä on ollut joihinkin aplikaatioihin tosi vaikea saada. Mutta nämä normaalit ICAO:n värit niin siis niitten. On ollut olemassa jossain vaiheessa joidenkin ledityyppien valmistajalla on ollut ongelma, ettei ne ole pystynyt valmistamaan riittävää määrää, jolloin toimitusajat on ollut pitkiä. Sellasta ongelmaa on löytynyt. Lähinnä punaisen kohdalla.

H: Aivan. Onko ylipäättään ledeillä vielä paljon ongelmia eri tuotantoerien suhteen? Epätasalaatuisia komponentteja?

PK: Ei enää päävalmistajilla, kuten Philipsillä ja Osramilla, jotka tekevät isoja volyymejä. Niillä alkaa olla aika hyvin ledien pinnaus hanskassa. Mutta sitten on jotain pienempiä valmistajia, jotka tekee erikoisledejä, joita ei muut pysty tai voi tai halua tehdä. Niitä kuitenkin käytetään näissä meidän valaisimissa. Kyllä nekin speksinsä pystyvät tekemään, mutta välillä niillä on ongelmia. Ne sanoo, että nyt vaan ei ole just tätä, mitä te halutte, ja menee kuukausi ennen kuin saatte. Mutta tämä koskee sanotaan yksittäisiä tiettyjä ledivalmistajia, millä tavallaan on monopoliasema tietyissä ledeissä.

H: Tuntuu kuitenkin edelleen olevan vahva mielikuva, että ledien valmistuksessa sat-

tumalla olisi suuri osuus siinä tuleeko "sunnuntaikappaleita" vai hyviä komponentteja.

PK: Kyllä standardiledit, pieni pinta-alaiset, 1-2  $mm^2$  kokoiset Philipsin ja Osramin ledit on mun mielestä aika hyviä tällä hetkellä. Tietysti nekin kun pikkusen tekee muutoksia bondaukseen, alustoihin kolmen vuoden välein yrittää tehdä muutoksia, joilla saisi vielä pienempään kokoon sen systeemin ja hintaa alaspäin. Uudessa versiossa saattaa hetki mennä ennen kuin ne saa ne samalle tasolle.

H: Jos mennä vähän sivuun tästä valaistusteknisestä puolesta ja puhutaan vähän suuremmista sähköjärjestelmistä. Halogeenithan on aikalailla puhtaasti resistiivinen kuorma ja ledit kapasitiivinen(?), jolloin loisteho kasvaa sähköjärjestelmässä. Näetkö tässä jotain isompia ongelmia esimerkiksi lentokenttävalaistuksen osalta?

PK: Nyt ollaan vähän alueella, jossa mä en ole paras puhumaan. Löytyy varmasti parempia asiantuntijoita siihen, että miten se vaikuttaa siihen järjestelmään. Käsitteäkseni näillä elektroniikalla pyritään sitä kompensoimaan, että loistehon määrä olisi suurin piirtein sama kuin halogeenissa tai mahdollisimman pieni ainakin. Se on kaiketi osa sen elektroniikan tehtävää. Elektroniikka ja softa, jolla just hoidetaan tämä virtakäyrä ja toiminta systeemissä (kuten loistehon määrä), sitten se ohjattavuus ja vikaindikaatiot. Nämä vikaindikaatiot esimerkiksi täytyy luoda elektroniikalla, mikä halogeenissa tulee siitä, kun lanka katkeaa. Koska ledi ei toimi näin, vaan se voi mennä oikosulkuun tai katketa, jolloin se vikatilanne täytyy simuloida tätä katkennutta lankaa. Sen täytyy tunnistaa, että nyt on vikaa ja avata se piiri, jotta se näyttää katkenneelta, jolloin säädin tunnistaa sen vikatilanteen.

H: Joo, se onkin tainnut olla yksi ongelma, että saadaan eri valmistajien ledit ja elektroniikka toimimaan samanlailla, että (lentokentällä) huomataan ne lamppuviat. Lähinnä että säädin huomaa ne.

PK: Kyllä. Sanoisin, että se on yksi leditekniikan suurimpia ongelmia. Täytyy simuloida lamppuvikaa, joka ei ole ollenkaan luontainen ledeille. Usein se on standardien asettama aika turha vaatimus, koska se on niin harvinainen tilanne kuitenkin ledeillä, että sieltä on ledi itsessään sammunut. Safegatella on, koska standardit vaatii, lamppuvikaindikaatio valaisimissa, näissä älykkäissä valaisimissa.

H: Muistaakseni avausmekaniikka säätimien suuntaan oli, että valaisimen piirissä jonkin pitää aueta, että eristysmuuntaja jää tyhjäkäynnille ja vastaavasti viiden yliaallon pitää kasvaa, mistä säädin sitten huomaa lamppuvian olevan menossa.

PK: Siellä on sähköinen rele, joka aukeaa, kun lamppuvika tunnistetaan.

H: On kuitenkin käytössä ainakin tyristori- ja hakkurisäätimiä. Täytyykö ledien suhteen tehdä elektroniikkaan muutoksia, jotta ne toimivat molemmilla säätimillä?

PK: Ledit toimii molemmissa säätimissä. Tietysti tuo hakkurisäädin, joka tuottaa aika puhdasta siniaaltoja, on ledien kannalta siistimpää sen tulevan virran takia verrattuna tyristorisäätimen tuottama melko piikikäs virta. Olisi periaatteessa helpompaa tehdä ledivalaisimia pelkästään hakkurisäädin ympäristöön, mutta se ei ole mahdollista, koska hakkurisäätimiä on niin vähän vielä. Täytyy suunnitella niin, että ne toimii kaikissa ympäristöissä. Se myös nostaa elektroniikan hintaa.

H: Entä miten lentokenttävalaistus ylipäättään lähitulevaisuudessa, miten näet sen? Ledit on tulleet jo kovaa vauhtia lentoasemille, mutta onko ne pidemmän aikavälin ratkaisu? Vai onko mitään kuvaa siitä, onko tulossa jotain toista teknologiaa lähitulevaisuudessa? Laser tuskin on tulossa lentokentille?

PK: Ainoat kuviteltavissa olevat, vähän paremmalla hyötysuhteella toimi puoli-johdetekniikka olisi laserit. Mutta sitä ei välttämättä kentille haluta. Auton valoissa sitä jo testaillaan ja se olisi kalliimpi, merkittävästi kalliimpi tekniikka kuin ledit. Ja ledit on mun mielestä erinomaisen hyvä tekniikka. Lentokentillä ei se energiankulutus ole niin merkittävä kustannuserä, että sen takia kannattaisi valaisimista maksaa paljon enemmän ja ottaa jotain tiettyjä riskejä siihen, mitä laser voisi tuoda. Mutta jos joku kehittää lasertekniikkaa turvallisesti ja tosi edulliseksi niin miksei? Mutta käytännössä valonlähteenä se näyttäisi hyvin paljon siltä lediltä, ettei se valaisimen kannalta mitään merkittävää olisi. Hyötysuhteen kannalta vähän.

H: Eli odotettavissa on, että ledit tulevat olemaan merkittävin valonlähde?

PK: Voisin olettaa, että tässä mennään ledien kanssa 10-20 vuotta ihan kevyesti.

H: Lentokentän standardit on tarkasti määriteltyjä, että ledienkään myötä tuskin on tulossa mitään täysin uuden tyyppisiä valaisimia? Vaan enemmänkin ledeillä pyritään korvaamaan vanhempia halogeenipohjaisia valaisimia?

PK: Se on ensimmäinen vaihe, että korvataan halogeenipohjaiset. Mutta koska ledeillä ohjattavuus on niin paljon parempi, niillä voi tehdä muitakin juttuja, mitä halogeeneilla ei oikeasti ole ollut mahdollista. Todennäköisesti tullaan kehittämään sellaisia juttuja, mitä halogeeneilla ei vain ole mahdollista. Periaatteessa ledeillähän voisi harrastaa vaikka viestintää. Se modulaatio voi sisältää vaikka signaalin. Sitä voisi käyttää lentokentällä hyväksi jollain tavalla. Jos sille keksitään mielekäs käyttö, niin silloin ledejä voi moduloida ainakin kilohertzien taajuudella, jolloin sillä voi välittää ainakin kohtuullisesti signaalia siellä missä tarvitsee.

B Mittauspöytäkirja SGN439

Valomittaus

pvm 8.-9.9.2015

klo 20:00-05:00

sää Kirkas

SGN439

<G W WG->

sarjapöytä: TWY APN6-330

muuntaja: 100W Ensto

kuorma: TWY APN6-330

ANNEX 14 App 4.4a):

red  $\geq 30$  cd/m<sup>2</sup>

yellow  $\geq 150$  cd/m<sup>2</sup>

white  $\geq 300$  cd/m<sup>2</sup>

II [A] U [V] P [W] S [VA]				Väri		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	min	keit	max
				L [cd/m <sup>2</sup> ]	piste n:o	139	155	188	198	170	143	197	180	139	191	169	152	197	195	158	139,0	171,4	198,0
30 %	6,11	6,8	40,9	x	x	0,49	0,49	0,48	0,49	0,49	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,49	0,48	0,49	0,48	0,482	0,485	0,489
				y	y	0,49	0,49	0,5	0,49	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,490	0,495	0,498
100 %	6,65	6,3	41,8	L [cd/m <sup>2</sup> ]	L	147	183	198	163	142	201	180	180	138	191	168	151	197	200	159	138,0	173,2	201,0
				x	x	0,48	0,48	0,48	0,49	0,48	0,48	0,48	0,49	0,48	0,48	0,48	0,49	0,48	0,49	0,48	0,482	0,484	0,486
				y	y	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,495	0,496	0,497

C Mittauspöytäkirja SGN663b

Valomittaus

pvm8.-9.9.2015

klo20:00-05:00

sääKirkas

SGN663b

VR->

sarjapiiri: TWY APN8 128

muuntaja: 100W Ensto

kuorma: TWY APN8 128

ANNEX 14 App 4 4a): red

yellow

white

≥30

≥150

≥300

cd/m²

cd/m²

cd/m²

I1 [A]	U [V]	P [W]	S [VA]	Väri	1	2	3	4	5	6	7	min	kelt	ka	max
				piste n:o											
30 %	6,28	19,8	66,5	L [cd/m²]	x	137	166	176	188	229	244	137,0	197,1	244,0	
						0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,471	0,472	0,474	
						0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,504	0,504	0,504	
100 %	6,58	19,5	68,3	L [cd/m²]	x	137	164	175	191	229	248	137,0	197,9	248,0	
						0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,471	0,472	0,474	
						0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,503	0,504	0,504	

D Mittauspöytäkirja SGN700a

Valomittaus

pvm8-9.9.2015

klo20:00-05:00

sääKirjas

SGN700a

saajapiiri: TWY APN8 128

muuntaja: 100W Ensio

kuorma: TWY APN8 128

ANNEX 14 App 4 4a):

red ≥30 cd/m²

yellow ≥150 cd/m²

white ≥300 cd/m²

II [A]	U [V]	P [W]	S [VA]	Väri		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	kelt		
				piste n:o	L [cd/m²]											min	ka	max
30 %	6,33	28,86	96	181,9	x	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,458	0,461	0,463
					y	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,499	0,500	0,500
100 %	6,64	24,63	90,6	163,4	L [cd/m²]	102	129	123	154	140	146	138	180	181	182	102,0	147,5	182,0
					x	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,458	0,461	0,464
					y	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,499	0,500	0,500



E Mittauspöytäkirja SGN702a

Valomittaus		pvm	8-9.9.2015 sarjajipiri: TWY WH										ANNEX 14 App 4 4a): red ≥30 cd/m²															
		klo	20:00-05:00muuttaja: 100W Ensio										yellow ≥150 cd/m²															
		säät	Kirkas kuorma: TWY WH										white ≥300 cd/m²															
SGN702a			04L-22R																									
II [A]	U [V]	P [W]	S [VA]	Väri																								
				piste no:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15									
30 %	6,08	25	92,5	147,1	x	16,1	17,7	20	20,8	21,4	20,2	19,4	21,6	23,2	25,8	26,5	30,0	30,3	39,2	34,5	16,1	21,5	30,3	26,5	0	32,5	39,2	0
					y	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,39	0,38	0,61	0,39	0,38	0,607	0,609	0,612	0,381
100 %	6,52	25,5	103	169,5	x	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,39	0,39	0,35	0,39	0,39	0,350	0,351	0,352	0,389	0,391	0,393		
					y	17,2	18,9	21,5	22,4	23,3	21,7	20,7	22,4	25,2	27,7	27,4	31,3	31,7	41,8	35,7	17,2	23,0	31,7	274,0	340,5	418,0	0,607	0,609
					x	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,39	0,38	0,61	0,39	0,38	0,350	0,351	0,352	0,388	0,390	0,392		
					y	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,39	0,39	0,35	0,39	0,39	0,350	0,351	0,352	0,388	0,390	0,392		



G Mittauspöytäkirja SGN669b

Valomittaus

pvm8.9.9.2015

klo20:00-05:00

sähKirkas

SGN669b

VR->

sarjapöytä: TWY ZS-ZL 127

muuntaja: 45W Easio

kuorma: TWY ZS-ZL 127

ANNEX 14 App 4 4a):

red ≥30 cd/m²

yellow ≥150 cd/m²

white ≥300 cd/m²

	I1 [A]				U [V]	P [W]	S [VA]	Väri	piste n:o																				
									kelt	kelt	kelt	kelt	kelt	kelt	kelt	kelt	kelt	kelt	kelt	kelt	kelt	kelt	kelt	min	ka	max			
									1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
30 %	6,29	5,18	25,3	32,6	L [cd/m <sup>2</sup> ]		177	185	194	206	202	149	171	173	174	180	142	167	171	175	154	175	179	184	142,0	175,4	206,0		
					x		0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,505	0,507	0,507
100 %	6,6	5,29	27,5	34,9	L [cd/m <sup>2</sup> ]		192	200	206	217	212	161	184	187	194	193	155	179	184	188	163	188	192	194	155,0	188,3	217,0		
					x		0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,505	0,506
					y		0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,488	0,489	0,490	

H Mittauspöytäkirja SGN703b

Valomittaus		8.9.2015		saajajippi: TWY Z 127		ANNEX 14 App 4 4a)		red		≥30		cd/m²	
Kio		2000-0510		mittauspaik: 4SW Ensto				yellow		≥150		cd/m²	
siili		Kirkas		kuorma: TWY Z 127				white		≥300		cd/m²	
SGN703b		CAT II)											
		II [A]		U [V]		P [W]		S [VA]		Väri			
										diste nro			
										1		2	
										3		4	
										5		6	
										7		8	
										9		10	
										11		12	
										13		14	
										15		16	
										17		18	
										19		20	
										21		22	
										min		pun	
										max		max	
										min		ka	
										max		max	
30 %		6,28		5,23		25,9		32,85		L [cd/m²]		x	
										y			
										73		70,7	
										56,4		271	
										38		41,4	
										231		44,8	
										42,3		42,7	
										255		45,3	
										230		42,8	
										276		38,0	
										53,3		80,2	
										230,0		252,6	
										276,0		38,0	
										0,638		0,644	
										0,646		0,407	
										0,409		0,410	
										0,409		0,391	
										0,392		0,392	
100 %		6,58		5,29		28,3		34,8		L [cd/m²]		x	
										y			
										0,65		0,65	
										0,65		0,65	
										0,65		0,64	
										0,41		0,65	
										0,64		0,41	
										0,64		0,64	
										0,41		0,64	
										0,64		0,41	
										0,35		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35		0,35	
										0,39		0,35	
										0,35			

I Mittauspöytäkirja SGN666a

Valomittaus

pvm8-9.9.2015

klo20:00-05:00

säiKirjas

SGN666a<-ASAV1

sarjapiri: TWY APN8 128

muuntaja: 100W Ensio

kuorma: TWY APN8 128

ANNEX 14 App 4 4a):

red ≥30 cd/m²

yellow ≥150 cd/m²

white ≥300 cd/m²

	I1 [A]	U [V]	P [W]	S [VA]	Väri		kelt 1	kelt 2	kelt 3	kelt 4	kelt 5	kelt 6	kelt 7	kelt 8	kelt 9	kelt 10	kelt 11	kelt				
					piste n:o	L [cd/m <sup>2</sup> ]												min	ka	max		
30 %	3,4	19,4	46,2	65,4	x	y	216	239	244	260	292	305	326	280	258	285	319	216,0	274,9	326,0		
							0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,469	0,470	0,473	
							0,52	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,52	0,523	0,525	0,526			
100 %	4,53	20,3	49,5	90,6	L [cd/m <sup>2</sup> ]	x	y	218	246	246	260	293	306	321	288	232	274	321	218,0	273,2	321,0	
								0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,5	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,468	0,472	0,496
								0,52	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,52	0,523	0,525	0,527	

J Mittauspöytäkirja SGN667b

**Valomittaus**  
pvm 8.-9.9.2015  
klo 20:00-05:00  
säät Kirkas  
SGN667b

**AV->**

**ANEX 14 App 4 4a):** red ≥30 cd/m²  
yellow ≥150 cd/m²  
white ≥300 cd/m²

**sarjapiiri:** TWY APN8 128  
**muuntaja:** 100W Ensio  
**kuorma:** TWY APN8 128

I1 [A]	U [V]	P [W]	S [VA]	Väri piste n:o	kelt							kelt		
					1	2	3	4	5	6	7	min	ka	max
30 %	3	20,1	28,3	L [cd/m²] x	205	246	255	218	277	308	308	205,0	259,6	308,0
					0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,467	0,468	0,469
				y	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,526	0,527	0,528
					201	251	254	220	281	308	308	201,0	260,4	308,0
100 %	5,5	20,5	35,9	L [cd/m²] x	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,467	0,468	0,469
					0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,526	0,527	0,528

K Mittauspöytäkirja SGN263+

Valontilaus		pvm	8.9.2015	suorittaja:	TWY Y	ANNEX 14 App 4.4a)		red	≥ 30	cd/m²																											
		klo	20:00-05:00	muunnaja:	150W Einso			yellow	≥150	cd/m²																											
SGN263+		tili	Kirkas	kuorma:	TWY Y			white	≥300	cd/m²																											
			GN	33-16																																	
		I1 [A]	U [V]	P [W]	S [VA]	Väri	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	mit	ka	max	min	pun	ka	max	min	valk
		L [cd/m²]				piste no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	mm	ka	max	min	pun	ka	max	min	valk
30 %		6,35	14,7	70,5	93,8	x	0,49	0,49	0,48	0,48	0,49	0,47	0,48	0,48	0,48	0,66	0,67	0,67	0,67	0,66	0,66	0,66	0,66	0,37	0,37	0,37	0,36	0,37	0,469	0,482	0,489	0,663	0,664	0,665	0,364	0,369	0,373
						y	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,51	0,51	0,5	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,4	0,41	0,4	0,39	0,39	0,495	0,501	0,512	0,326	0,327	0,328	0,390	0,398	0,407
100 %		6,66	13,9	70,6	92,4	x	0,48	0,48	0,48	0,48	0,49	0,47	0,48	0,48	0,48	0,66	0,67	0,67	0,66	0,66	0,66	0,66	0,37	0,38	0,37	0,36	0,37	0,468	0,479	0,485	0,662	0,664	0,666	0,363	0,370	0,376	
						y	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,51	0,51	0,51	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,4	0,41	0,39	0,4	0,39	0,499	0,504	0,514	0,327	0,328	0,328	0,390	0,397	0,406	

**L Mittauspöytäkirja SGN736**

[illegible]



M      Mittauspöytäkirja TWOY

Valomittaus

pvm8-9.2015

Klo20:00-05:00

sähKirkas

TWOY

sarjapöytä: TWY Y

muuntaja: 100W Ensto

kuorma: TWY Y

ANNEX 14 App 4.4a): red

yellow ≥150 cd/m²

white ≥300 cd/m²

	II [A]	U [V]	P [W]	S [VA]	Väri	piste n:o																	kelt		
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	min	ka	max	
30 %	6,22	7,1	37,4	43,9	L [cd/m <sup>2</sup> ]	52,2	71,9	87,8	87,3	200	156	214	193	209	178	71,5	80,6	77,4	180	93,2	90,8	86,2	52,2	125,2	214,0
					x	0,51	0,5	0,5	0,5	0,51	0,5	0,5	0,5	0,52	0,52	0,52	0,5	0,51	0,51	0,52	0,500	0,507	0,517		
					y	0,48	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,48	0,48	0,48	0,49	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,477	0,486	0,494
100 %	6,5	7,6	43,1	49,4	L [cd/m <sup>2</sup> ]	71,9	78	97,1	75,2	212	224	235	182	229	202	73,9	87,5	88,7	203	94,9	93,4	96,8	71,9	137,9	235,0
					x	0,51	0,5	0,5	0,51	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,52	0,52	0,52	0,5	0,52	0,52	0,52	0,500	0,508	0,518	
					y	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,48	0,48	0,48	0,49	0,48	0,48	0,48	0,476	0,486	0,494	

N Mittauspöytäkirja SGN438

Valomittaus

pvm8-9.9.2015

klo20:00-05:00

sääKirkas

SGN438

BD

sarjapöytä: TWY APN6 330

mmuntaja: 45W Ensio

kuorma: TWY APN6 330

ANNEX 14 App 4 4a):

red ≥30 cd/m²

yellow ≥150 cd/m²

white ≥300 cd/m²

Il [A]	U [V]	P [W]	S [VA]	Väri	kelt										kelt	
				piste n:o	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	min	ka max
30 %	6,05	8,3	41,2	L [cd/m²] x y	88,9	102	96,3	109	100	112	122	129	163	173	88,9	119,5 173,0
					0,5	0,49	0,5	0,5	0,5	0,48	0,48	0,48	0,49	0,49	0,484	0,491 0,498
100 %	6,56	8,6	48,2	L [cd/m²] x y	98,2	107	112	120	124	120	122	148	196	168	98,2	131,5 196,0
					0,5	0,5	0,5	0,5	0,49	0,48	0,48	0,48	0,49	0,5	0,484	0,491 0,497
					0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,51	0,51	0,51	0,5	0,5	0,495	0,501 0,509

O Mittauspöytäkirja SGN-Z10

Valomittaus

pvm08.09.2015

klo13:00-15:00

säätHK-LAIS mittaushuonon kuorma: lisäksi 200W uppovalaisin

saajapipiri: mittaushuoneen IDN8000 3kVA

munntaja: 45W Ensisio

sgnZ10

ANNEX 14 App 4 4a)

red ≥30 cd/m²

yellow ≥150 cd/m²

white ≥300 cd/m²

	II [A] U [V] P [W] S [VA]				Väri	piste n:o	kelt kelt															
--	---------------------------	--	--	--	------	-----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--